

Nuevas tecnologías, mejoran la productividad de las industrias bio-agrícolas.

New technologies improve the productivity of bio-agricultural industries.

JUAN JOSE GRASSI ¹

grassi.juanjose@usal.edu.ar

¹ Alte. Cordero 92, 1826, Remedios de Escalada, Argentina.

Recibido 13/11/2024; Aceptado: 26/12/2024

Resumen: Las industrias que producen inoculantes bio-agrícolas, son en su gran mayoría Pequeñas y Medianas Empresas. La producción de bio-insumos para monocultivos (inoculantes), produce estacionalidad en la producción, perjudicando la actividad fuera de la estación productiva. Los inoculantes están conformados por bacterias nodulantes fijadoras de nitrógeno, producto que mejora la productividad, desarrollo y maduración de las semillas en la siembra de las plantaciones. Es un desafío la aplicación de nuevas tecnologías que permitan resolver esta situación variable en la producción. Los procesos fructuosos de cada especie de semillas son diferentes y hoy les resulta onerosa la diversificación en la producción de cada inoculante para cada especie, además los propios procesos de esterilización podrían ser reemplazados por nuevos conceptos, apoyados en la radiación electromagnética. Consideramos, que las innovaciones de la industria 4.0 en la actividad de producción darían una respuesta al planteo. El uso combinado y la integración de esas tecnologías permitirían garantizar mejoras en los procesos en los monocultivos tradicionales (soja) y también en otros complementando la estacionalidad sin grandes inversiones, pero con el beneficio de una continuidad productiva.

Palabras-clave: inoculantes; bioagricultura 4.0; integración tecnologías 4.0

Abstract: The industries that produce bio-agricultural inoculants are mostly Small and Medium Enterprises. The production of bio-inputs for monocultures (inoculants) produces seasonality in production, harming activity outside the productive season. The inoculants are made up of nodulating nitrogen-fixing bacteria, a product that improves the productivity, development and maturation of seeds when planting plantations. The application of new technologies that allow solving this variable situation in production is a challenge. The fruitful processes of each species of seeds are different and today it is onerous to diversify in the production of each inoculant for each species. In addition, the sterilization processes themselves could be replaced by new concepts, supported by electromagnetic radiation. We consider that the innovations of Industry 4.0 in production activity would provide an answer to the question. The combined use and integration of these technologies would ensure improvements in processes in traditional

monocultures (soybeans) and in others, complementing seasonality without large investments, but with the benefit of productive continuity.

Keywords: inoculants; bio agriculture 4.0; technology integration 4.0

1. Introducción

Dentro del contexto de la cuarta revolución industrial, fueron surgiendo nuevas y diferentes tecnologías, las que de a poco, han impactado en el hombre en cuanto a su integración social, esperanza y calidad de vida. Esto colaboró con la optimización del hábitat, la transformación y racionalización de la energía, mejoras importantísimas en las comunicaciones y un crecimiento de interacciones que lograron también, accesibilidad a la información más completa, actualizada, en forma muy económica, con mayor eficacia y eficiencia, entre otros tantos beneficios.

También se han ido encontrando utilidades no solo por la propia innovación, sino también por la auto complementación de estas tecnologías que no dejan de sorprender al mundo y también a la comunidad científica, Basco, Beliz, Coatz, & Garnero (2018) “*Industria 4.0: fabricando el futuro (Vol. 647)*”.

Es fácil entender para quienes compartimos la segunda mitad del siglo XX, que era solo un sueño de historias infantiles entablar una comunicación con otra persona a distancia y ver su rostro, en años en que solo la telefonía podía lograr comunicaciones que no siempre llegaban a fines deseados por tantas interferencias, fragilidad del sistema, etc.

Con el tiempo también surgieron tecnologías que comenzaron a dar respuestas y soluciones que la electrónica clásica no alcanzaba. Esas sutiles innovaciones, como todo proceso de crecimiento, encontraron en su trayecto éxitos y fracasos, para ir logrando y de a poco recursos que ejemplificaron su gran poder de resolución, por lo que la comunidad científica, industrial y educativa fue incorporando, para mejorar su propia actividad.

Como objeto de nuestro trabajo asumimos lograr unir a la actividad industrial bio-agrícola, los nuevos conceptos que nos brindan las innovaciones tecnológicas, Schwab (2016) las menciona como: “la cuarta revolución industrial”. Intentamos lograr beneficios en cuanto a la productividad y a la continuidad durante el ciclo anual.

Inducimos que en la medida que puedan ser asociadas a las diferentes actividades agroindustriales, las empresas involucradas, podrían lograr una mejora significativa en los niveles de prosperidad, dado que su implementación puede impactar en los parámetros la calidad, productividad, riqueza y crecimiento de sus economías.

Para ello, es necesario partir de sectores productivos como los clúster y sus racimos, en los que se destacan los conceptos de innovación, territorialidad y otras tantas ventajas según expresa en tu trabajo Bellandi (2016). En este marco, el desarrollo e introducción de nuevas tecnologías impacta notoriamente en los factores de bienestar y crecimiento mencionados anteriormente, lo cual es impulsado además por la localización geográfica y cercanías de los clúster.

La exigencia del desarrollo de los distintos tipos de conocimientos junto con los recursos, materiales específicos, la colaboración financiera, etc. reducen el riesgo y

la incertidumbre, aunque también existen otros riesgos como la competencia, lo cual genera muchas veces conflictos de intereses y rivalidad que terminan desanimando el progreso. Sin embargo, en un marco de acuerdos de cooperación, funciona mejor la aplicación de estas tecnologías que en otro tipo de estructuras productivas, García Garnica & Lara Rivero (2009).

Las pequeñas y medianas industrias (PyMEs) son clúster que con sus racimos participan en los mercados, con políticas productivas de territorialidad e innovación por el uso e incorporación rápida de tecnologías, incorporando además la agilidad de gestión, recurso que es difícil lograr en empresas de gran escala de producción. El estudio de estas empresas ya había sido abordado por Porter (1998), quien destacó la buena productividad, gracias a los factores de territorialidad, competencia, colaboración, innovación y otras tantas virtudes en un marco de dinamismo de gestión.

En los “territorios” de producción elegidos para nuestro estudio (Gral. Las Heras, Prov. de Buenos Aires), hemos evidenciado que hay diferentes establecimientos y proveedores de bio-insumos. Esto facilita la tarea de la elaboración de ciertas materias primas que se requieren la producción de los inoculantes, situación muy ventajosa, si además concurren diferentes “colegas” o empresas competitivas, que más allá de compartir el mismo mercado, permiten que varios de esos proveedores de insumos y servicios industriales puedan tener un territorio más amplio para su propia actividad, garantizando así en los clúster una adecuada gestión de compras, servicios, etc. que también se puede extender a oficinas gubernamentales, (Afip, Senasa, Aduana, Bancos, Etc.), centros de salud, esparcimiento y otros.

2. La cuestión Biológica y la visualización de los cambios

La inoculación de las bacterias en los cultivos, según hemos indicado en párrafos anteriores, permite obtener una serie de ventajas importantes al momento del crecimiento y rendimiento de los diferentes productos a realizar la siembra. Las bacterias inoculadas provocan nodulación y por lo tanto la fijación de nitrógeno generando nitrogenasa (enzimas oxidoreductasas que catalizan reacciones de tipo óxido-reducción). Esto es posible en cierto tipo de granos del tipo leguminosos.

2.1 Proceso de cultivo y reproducción de los macroorganismos

Las especies de microorganismos o bacterias son diferentes para cada tipo de semilla (ej. soja, avena, cebada, centeno, trigo, etc.), donde cada bacteria específicamente generará una óptima nodulación para cada una de ellas.

Ejemplos de bacterias nodulantes son: *Bacillus* sp, *Rhizobium* sp, *Azospirillum* sp, *pseudomonas*, entre otras especies.

Esas especies requieren una tecnología y proceso biológico muy preciso, el que numerosas veces por errores humanos, termina inutilizando toda la producción. Por tal motivo es importante considerar los siguientes requerimientos inevitables para todo el proceso:

1. Esterilidad total de todos los elementos y utensilios, medio en el que sólo debe estar viva la bacteria a cultivar.
2. Presencia de Oxígeno adecuado en todo momento.

3. Garantía de una temperatura óptima para reproducción (28°-29°C).
4. El medio de cultivo (agar enriquecido y/o mezcla de Carbono, Nitrógeno, Fosforo y micronutrientes).
5. Es necesario el sustrato o matriz de sustentabilidad (combinación de azúcares y espesantes).

Todo el proceso se basa en reproducir las bacterias a escalas cada vez más grandes hasta llegar a la concentración buscada y óptima. Éstas se unirán a posteriori a el sustrato, conformando el producto final, que se fracciona, envasa y comercializa.

El proceso de esterilización será más efectivo, por medio de vapor sobrecalentado y aire depurado con filtros de 0,2 μm , que hará burbujear con caudal controlado el medio de cultivo de las bacterias (oxigenación), para su óptima reproducción en un medio de temperatura regulada (28°-29°C).

Actualmente este proceso es controlado desde un panel, que por medio de sensores de caudal y temperatura actúan sobre el agua fría o caliente, comandado por personas. En el mismo proceso, la presencia de espuma sobre el líquido no es una buena señal, ya que estaría indicando muerte de bacterias. Marquina, Ramírez & Castro (2018).

En cada escala del proceso se produce un crecimiento que varía entre uno y tres días.

El color que se observa en el medio también va a depender del tipo de bacteria y puede variar entre amarillo pálido, más oscuro, marrón, etc.

Una vez alcanzado el máximo de crecimiento de las bacterias en el fermentador (capacidad 40l), se pasa a una escala mayor, con equipos de capacidades de 500, 1000 y 2000 litros respectivamente, manteniendo las mismas condiciones controladas de esterilización, oxigenación, temperatura y presión.

Cuando se obtiene el volumen de bacterias buscada (biomasa), el proceso productivo continúa con la mezcla de las bacterias con algún sustrato o matriz de sustentabilidad para luego ser envasado y comercializado.

La matriz se prepara paralelamente en otro fermentador.

En estos procesos, es importante considerar que, para reproducir cada especie o cepa de bacteria diferente, previamente hay que esterilizar con mucho cuidado absolutamente todos los sistemas para que no haya contaminación con bacterias que se cultivaron en procesos anteriores. Esto se hace con vapor sobrecalentado e incluso a veces se realiza una limpieza intermedia con solución de agua clorada.

La inoculación de las bacterias en los cultivos permite obtener una serie de ventajas importante al momento del crecimiento y rendimiento de los diferentes productos a realizar la siembra. Las bacterias inoculadas provocan nodulación¹ y por lo tanto la fijación de nitrógeno generando: nitrogenasa (enzimas oxidorreductasas que catalizan reacciones de tipo óxido-reducción).

¹ La nodulación de las bacterias, denominadas rizobios, consiste en tener capacidad de establecer una relación simbiótica con las plantas leguminosas. Los rizobios colonizan las raíces y forman nódulos en las raíces, que son estructuras donde se lleva a cabo la fijación de nitrógeno atmosférico, imprescindible para su crecimiento.

Esto es posible en cierto tipo de granos del tipo leguminosos.

2.2 El caso de la soja

Este cultivo, requiere una mejora en su propia productividad, ya que son semillas, que permiten optimar su crecimiento, nodulación y calidad entre otros beneficios y por eso, la necesidad de fabricar inoculantes que le provean a las semillas las mejores condiciones de producción, de acuerdo con el suelo, clima y otras tantas condiciones de siembra.

Los inoculantes están conformados por bacterias (que deben ser específicas del cultivo que se va a utilizar) y el soporte que las contiene. Por lo general se comercializa en vejigas (bolsones plásticos) que contienen las bacterias y la turba.



Figura 1, muestra de la presentación de las bacterias dentro de la turba, en vejigas de 4,5kg.
Fuente: Empresa Biagro

Las vejigas observadas, como también los equipos que dosifican los productos, poseen un tratamiento de esterilización por medio de la aplicación de rayos Gama sobre los envases, previo a su envasado.

El éxito de la inoculación depende fundamentalmente de llegar al momento del tratamiento de semilla con un adecuado número de bacterias que aseguren un correcta nodulación, que a la vez genera una eficiente FBN (Fijación Biológica de Nitrógeno), lo que asegurará una adecuada nutrición de nitrógeno para la planta.

Es interesante considerar que las leguminosas demandan altas cantidades de este nutriente para formar proteínas, siendo este último un principal componente de los granos.

Se estima que un cultivo bien nodulado, fija entre 100 y 150kg N/Ha, Paredes (2013).

En la figura 2 podemos observar en la tabla, la mejora notoria de la productividad de los granos de soja, ante la incorporación de los inoculantes.

Tratamientos	Rendimiento (kg/ha)	Diferencia sobre el testigo (kg/ha)	Diferencia sobre el testigo (%)
No inoculado	4658	-	-
Inoculado con Bradyrhizobium japonicum	4860	202	4,3
Inoculado con Bradyrhizobium japonicum, Azospirillum spp y Pseudomonas spp	5122	464	10,0
Inoculado con Bradyrhizobium japonicum y Bacillus spp	5199	541	11,6

Figura 2, Rendimiento comparativo de la producción con y sin la acción de inoculantes.
Fuente: propia

Según observamos en la figura 2, la bacteria *Bradyrhizobium Japonicum*, actúa en forma específica para el cultivo de soja y solo para esa leguminosa, produciendo rendimientos importantes. Este género de bacteria no puede entrar en relación simbiótica con otra especie vegetal.

Debemos destacar que cada leguminosa le provee la fuente carbonada que necesita esa bacteria, y ésta suministra el nitrógeno que la planta necesita para producir sus propias proteínas, siendo éste, un proceso muy exacto. Además, hay un detalle que vale la pena remarcar en el aspecto de la inoculación, en la que tampoco el número de bacterias no se puede exceder y a la vez no debe menguar, requiriendo un conteo exacto y cuya implementación requiere tecnologías muy precisas y éstas forman parte de las anteriormente mencionadas.

2.3 Otras semillas

Los productos que elaboran las industrias que estamos tratando, requieren varias etapas de procesamiento en ambientes esterilizados.

La esterilización (ver figura 3) requiere el uso de vapor sobrecalentado, con procesos de acenso y descenso de la temperatura en intervalos de tiempos y gradientes térmicos controlados, eliminando bacterias ajenas al procesos, que se incorporan perjudicando el producto final.

Este proceso se realiza con el uso de ciertas tecnologías que provienen de “paquetes” ya comprobados en los lugares de origen de las propias bacterias “madres”, siendo éstos ya reconocidos en forma internacional, Viñals & Villar (1999) “*Avances en la formulación y aplicación de inoculantes bacterianos de uso agrícola*”.



Figura 3, Equipo de esterilización del tipo autoclave con regulación de presión, temperatura y tiempo de esterilización. Fuente: Empresa Biagro

Es interesante formular que cada variedad de semilla, tales como la arveja, poroto, garbanzo, etc. además de sus respectivas variantes, requieren diferentes tipo de bacterias para la mejora de su productividad por medio de inoculantes, y éstas se diferencian de las que requiere la misma bacteria *Bradyrhizobium Japonicum*, requiriendo diferentes parámetros de crecimiento, y de eliminación de los propios contaminantes, por lo que la esterilización de éste diferente tipo de bacteria, requiere cambios importantes que no son posibles llevar adelante con las tecnologías actuales.

Esto ocasiona que la mayoría de los clúster productivos apunten a monocultivos que demandan bioinsumos similares, que reducen los posibles cambios en la esterilización o procesos de Pasteurización, produciendo solo un tipo y en gran cantidad, durante un breve periodo del año. Esto provoca en las empresas situaciones de producción variable, con períodos de “planta parada”. Estos períodos son espacios de tiempo en donde los empleados afectados al área de producción y otros tantos integrantes de la empresa realizan actividades con menor rentabilidad.²

2.4 Limitaciones de la productividad en los monocultivos

En Argentina el cultivo que más se presta al crecimiento de éstos clúster es la soja, leguminosa que ha tomado a nivel mundial un protagonismo muy importante, no solo por las propias características intrínsecas de la misma en cuanto a su nivel proteico, sino también por lo interesantes que son los subproductos tales como aceites, harinas, lecitina, pellets, biodiesel, y residuos entre otros, Reboratti (2010).

² En el caso del maíz, cuya campaña es temporal con la soja, es una semilla híbrida, y los productores agropecuarios no utilizan productos inoculantes, ya que las semillas se proveen en bolsas con los correspondientes fertilizantes, micronutrientes, bioestimulantes y biocontroladores tales como los biofungicidas y bioinsecticidas, donde estos últimos se refieren a hongos que generan enfermedades a los insectos de las plagas. Será interesante estudiar los diferentes procesos, como para poder aplicar las innovaciones tecnológicas, descriptas en párrafos anteriores.

Por lo expuesto en el párrafo anterior, como proyecto de inversión la soja es una buena alternativa y de hecho el protagonismo de esta leguminosa y los subproductos, han logrado mejoras nutricionales en el ser humano a nivel mundial, impactando en la matriz alimenticia.

Este cultivo atrajo a grandes inversiones en los últimos años y muchas de estas han ocupado suelos en los que existían equilibrios importantes en los cultivos variados, Ordoñez & Senesi (2015). En muchas regiones, la expansión de la producción de soja ha llevado a la conversión de tierras agrícolas dedicadas a cultivos alimentarios básicos, como cereales (maíz, trigo, arroz) y leguminosas (como porotos, garbanzos, lentejas, etc.), López, Duval, Martínez & Galantini (2015).

Esto ha reducido la disponibilidad de tierras y recursos para la producción de importantes alimentos para consumo humano, Aranda (2015). Y muchos de ellos no fácilmente reemplazables como son los frutales, cuyos arboles requieren años para su madurez productiva.

Este y otros tantos efectos ecológicos, han modificado negativamente la biodiversidad, lo que impacta en la productividad agroindustrial y la sustentabilidad de la región, Iermanó & Sarandon (2016).

Su producción es estacional, es una cuestión aún pendiente de resolver.

En Argentina por haber diferentes regiones climáticas que abarcan fechas de siembra comprendidas entre octubre y diciembre de cada año permitiendo que las plantas se desarrollen durante la primavera-verano y alcancen su madurez antes de las condiciones climáticas desfavorables de otoño-invierno, épocas en las que se comercializa y distribuye.

La siembra es una etapa crucial en el ciclo de producción de alimentos y cultivos, ya que determina el inicio del crecimiento de las plantas y la posterior cosecha. Durante la época indicada anteriormente, se selecciona el momento adecuado, se prepara el suelo, se distribuyen las semillas con sus respectivos inoculantes para favorecer la germinación y el desarrollo inicial, actividad realizada con maquinaria especializada.

Durante esos períodos de pre-siembra, se preparan las demandas de los bioinsumos agrícolas y para ello se utiliza la máxima capacidad instalada en producción, dosificado y distribución del producto terminado, siendo ésta, una actividad única en la que los niveles de facturación y productividad son óptimos y que no se repetirán durante el resto del año.

Aunque sabemos, de acuerdo con el análisis planteado en líneas anteriores, que siendo la soja el cultivo por excelencia, hay tendencias que en algún momento impactarán en regresiones negativas, por la propia saturación de la oferta y demanda. Además, cabe considerar los daños indicados dentro de nuestra sustentabilidad, los que también deberán de cambiar, por la propia necesidad de volver a la biodiversidad, Iermanó & Sarandon (2016).

Lograr la diversificación de la producción propia en los clúster productivos es nuestra hipótesis. La producción estacional de inoculantes para semillas como el trigo, sorgo, arvejas, garbanzos, etc., permitiría una importante estabilidad productiva, de uso de recursos y de presencia en los mercados, y por consecuencia un incremento en su productividad más constante la demanda durante el año calendario.

3. Alternativas de producción de nuevas tecnologías frente a los monocultivos

Como hemos explicado en párrafos anteriores, es muy difícil que las industrias de producción de insumos de microbiología agrícola puedan producir variedad, en transiciones cortas de tiempo, dadas las complicaciones de esterilización mencionadas, como las exactitudes requeridas en sus procesos de microsimbionte (rizobios) y un macrosimbionte (semilla de planta leguminosa).

Nos apoyamos en las nuevas tecnologías que nos ha brindado la revolución 4.0 para considerar que es posible lograr producir variedad de inoculantes diferentes durante todo el año. Como también en el desarrollo de nuevas estrategias de protección de las células y la exacta incorporación de sustancias especiales que garanticen la supervivencia bacteriana, lo que podrá ser un desafío que podamos relacionar para producir diferentes inoculantes para las distintas especies de semillas.

También entendemos que los procesos de esterilización más utilizados como los térmicos, químicos y radioactivos, podrán optimizarse logrando un uso muy racional de recursos.

Hay avances científicos en cuanto a la esterilización en procesos de radiación, dada su efectividad y selectividad siendo lo más conocido la radiación gamma y x. Aunque también la ciencia ha estudiado radiaciones proveniente del sol que afectan especies y ecosistemas, tema abordado por Rozema (1997) y luego por Day & Neale (2002).

3.1 Innovación Tecnológica

Como desafío, sería interesante investigar en forma muy selectiva, la frecuencia que permita la destrucción selecta de las bacterias contaminantes presentes en el proceso de producción de cada inoculante.

En cuanto a la relación causa-efecto, podríamos destacar que esa selectiva forma de eliminar, por radiación específica toda contaminación celular no deseada, impacta en forma muy positiva en los costos de esterilización convencionales, aunque estos últimos con la más adecuada tecnología.

Podrían ser frecuencias cercanas a la de los rayos gamma o de los rayos x, pero también se nos presenta como hipótesis: ¿Podría ser otra frecuencia, otra potencia, otra dirección de oscilación de la onda de la radiación que elimine exactamente la bacteria contaminante que se localice durante el proceso?

Como ejemplo, en el trabajo de Casal Bejarano (2010) indicado en la figura 4, observamos como se ha estudiado por diferentes experimentos y ante la presencia de la radiación solar, en las diferentes estaciones, pero siempre dando énfasis a frecuencias típicas, las diferentes acciones de las radiaciones en función de sus frecuencias. En esta investigación se ve claro que hay continuidad dentro de las magnitudes en todo el espectro.

También un desafío sería vincular equipos que hayan utilizado tecnologías 4.0 y eso lo podemos observar el trabajo de Gómez Ruggiero (2019), en donde “barren” o modifican frecuencias en un gran espectro, es decir, permiten modificar los valores de la frecuencia de las ondas electromagnéticas en forma selectiva, continua y

manteniendo magnitudes y ángulos de impacto adecuados, no solamente en los valores típicos, como las IR, UV, X o Gamma.

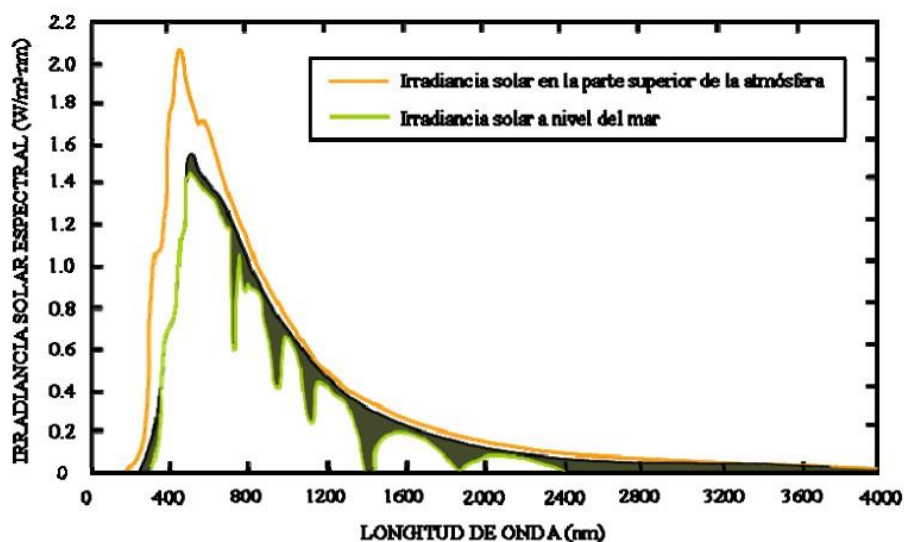


Figura 4, curvas de distribución de irradiancia espectral. Las áreas negras representan la absorción de varios gases en una atmósfera despejada. La línea segmentada representa los distintos gases implicados en la absorción y la longitud de onda (en μm) en la que se centran sus bandas. Fuente: Thekaekara (1976)

Se han investigado casos puntuales de la incidencia, aunque es escasa la literatura cuando se quiere disponer al sometimiento de la acción de las diferentes frecuencias para eliminar células específicas.

4. Marco Conceptual

4.1 La industria 4.0 insertada en la actividad agroindustrial

Las tecnologías que incorpora la industria 4.0 han crecido desde el primer momento donde la tecnología digital fue tomando protagonismo. Hasta ese entonces, lo analógico impactó en forma muy positiva una gran cantidad de procesos industriales, mejorando niveles de productividad y el propio uso racional de la energía requerida, dada su importante innovación en incorporar soluciones de todo tipo en la industria.

La industria 4.0 incorpora una nueva era desde las propias técnicas digitales iniciales hasta las actuales que no solo surgen de cada tecnología “per se”, sino también de la

combinación y complementación, otorgando soluciones altamente eficaces a cada problemática, dada la vinculación interna y externa.

En la agroindustria, y precisamente siendo éstas el foco de nuestro trabajo, estudiamos aquellas que producen inoculantes para aumentar el rendimiento de las semillas de origen leguminosa y la elección adecuada de cada tecnología y sus posibles combinaciones, consideramos que podrían ayudarnos a resolver el problema que presentamos, tanto en plantear la diversidad de leguminosas, como así de resolver con nuevas tecnologías los procesos de esterilización.

Esto último según lo expone Vértiz (2020) y otros tantos autores contemporáneos, nos permitirán solucionar con eficacia los diferentes problemas productivos.

La revolución 4.0 ha incorporado herramientas muy útiles para la actividad industrial, las que se potencian a la hora de ser combinadas o integradas, generando así otras nuevas tecnologías de características superiores y adecuadas a cada necesidad, dejando al campo de la investigación un margen muy importante y altamente eficaz. La integración de estas tecnologías permite crear sistemas de producción más flexibles, personalizados y eficientes. Por ejemplo, los robots de una determinada industria pueden comunicarse a través de IoT y compartir datos en tiempo real, etc.

Las tecnologías 4.0 son importantes por el impacto que obtendrán en los procesos de productividad bio-agrícola, haciendo un análisis de las mismas podemos considerar:

1. IoT, nos permite la interconectividad entre dispositivos de cada proceso, censando, categorizando las partidas de insumos, obteniendo la medición de caudal, temperaturas, velocidades, etc., procesando por medio de microcontroladores, corrigiendo los parámetros correctos. Esta tecnología por medio de dispositivos incorpora la facilidad del monitoreo y envío de la información obtenida. Además, nos permite el uso de radiofrecuencias (RFID) con el uso de diferentes códigos QR con monitoreo local o remoto.
2. La Robótica que nos brinda, precisión, eficiencia y sostenibilidad a la hora de mantener los preparados en forma adecuada dentro de la trazabilidad del proceso. La dosificación robótica se caracteriza por su precisión logrando un crecimiento muy adecuado de los microorganismos. Los robots pueden ser programados para dispensar una cantidad exacta de las distintas cepas, en el proceso biológico que corresponda identificando realizar el proceso en las condiciones que se le indiquen (presión humedad, temperatura, etc.).
3. Big Data, podría proveer mejorar la eficiencia, la calidad y la seguridad de los procesos, lo que beneficia procedimientos de esterilización en cada punto del proceso, permitiendo dimensionar y corregir en forma inmediata la presencia de bacterias no deseadas o que posean diferentes características o parámetros genéticos no permitidos.
4. Analítica permitiría un monitoreo y ajuste en tiempo real por medio de sensores muy específicos como los de flujo, nivel, proximidad, visión, presión y humedad entre otros. La toma de decisiones con respuesta a tiempo real es una herramienta que puede incorporarse para la inmediata corrección de errores o desajustes de cada parámetro testeado.

5. Realidad Aumentada nos mejora el monitoreo del crecimiento y la salud de cada célula, antes y después de cada proceso de esterilización o conteo de concentraciones.
6. Impresión 3D, nos permitirá la construcción de piezas por capas bien definidas. Si bien parecería que en un proceso de producción de los inoculantes es poco necesaria, por el contrario, vemos que puede ser muy útil para la construcción de dispositivos en los que se realicen procesos de esterilización. Tanto en forma directa, por el uso del filamento fundente (PLA, ABS, PETG, TPU, etc.) o para la construcción de matrices o modelos en forma muy rápida y precisa.
7. Scanner 3D, logrado por sensores que permiten la captura de la geometría y las características de un objeto tridimensional en un formato digital mediante el uso de tecnologías de escaneo. Esto puede resolver cuestiones de forma, dimensiones y conformaciones de los diferentes estados de los modelos obtenidos en las disímiles etapas de elaboración de los inoculantes. Nos enfrentaremos con el problema de la transparencia de ciertas células, las que deberemos realizar algunas experiencias para mejorar su visualización, con el uso de espectros de frecuencias de detección, fuera del visible, Abadía C. (2023).
8. Cloud Computing nos permite la interconexión y almacenamiento de recursos, como servidores, bases de datos, redes, software y herramientas de análisis en tiempo real y en comunicación con otras bases de datos ya existentes, sin requerir conexiones físicas o consultas a los operadores, etc.
9. Ciber Seguridad informática, será nuestra defensa ante las inestabilidades que se generan permanentemente en los procesos del uso de estas nuevas tecnologías. Nos incorpora prácticas, procedimientos para proteger los sistemas informáticos, redes, dispositivos y datos contra ataques cibernéticos, robos, daños o accesos no autorizados, garantizando la óptima operatividad de los sistemas de producción.
10. RFID (Identificación por Radiofrecuencia) nos permitirá la identificación y seguimiento automático de células, objetos y trayectos, mediante el uso de identificadores que contienen información y pueden ser leídas mediante ondas de radiofrecuencias con diferentes parámetros: frecuencia, longitud de onda, desfases entre ondas, etc.
11. Simulación se utilizará para probar y optimizar el diseño de productos sin la necesidad de desperdiciar materia prima. También se podrá predecir u obtener correlaciones en el comportamiento de las células que componen los inoculantes, bajo condiciones diferentes, evaluando el rendimiento de sistemas complejos antes de su implementación real.
12. Los Gemelos digitales, que son réplicas virtuales, reflejan fielmente el estado y el comportamiento de las fases homólogas en tiempo real. Éstos nos permitirán realizar modelos gemelos del crecimiento de la semilla, según se van incorporando los diferentes parámetros en los procesos.
13. Integración Horizontal es una tecnología aplicable en el cualquier proceso de esterilización, buscando mejorar la eficiencia utilizando lo mejor de cada una de las tecnologías descriptas anteriormente e impactando en la calidad y la

seguridad del proceso mediante la conexión y sincronización de diferentes equipos y sistemas. Esto ayuda a optimizar la gestión y control del proceso de esterilización y/o modificación requerido en cada grano. Esta tecnología la posibilidad de hacer trazabilidad en tiempo real punta y punta del ciclo de vida y sus modificaciones de un determinado producto biológico: bacteria requerida y bacteria infiltrada. Sabemos que estas tecnologías están muy bien pensadas para manufacturas, aunque su aplicación a la obtención de inoculantes es muy desafiante. A lo largo de todo un ciclo de vida de una bacteria en particular, si se detecta una necesidad, se hace el estudio, se diseña, se prototipa, se empieza a producir, se recicla, entra en desuso, es y todo a lo largo de eso se está monitoreando que pasa.

14. La Integración Vertical, nos permitirá integrar sistemas propios con otros sistemas de operación, permitiendo así la comunicación con un CRM (Customer Relationship Management), un ERP (Enterprise Resource Planning) y con un PLC (Programmable Logic Controller). Con cierta trazabilidad en diferentes tiempos, se puede estar controlando, modificando parámetros y descartando en algunos casos cada partida productiva asociada al proceso en tiempo real. Los CMR que vinculan la actividad productiva con los clientes, nos permitirán siempre establecer las preferencias de estos, mientras que los ERP nos ayudará a optimizar la gestión de nuestra propia empresa en cuanto a la cadena de suministros, inventarios, ventas, logísticas de entrega, etc. Mientras que los PLC actuarán en las gestiones propias de los equipos, mecanismos, motorizaciones y controles de parámetros internos de cada etapa productiva.

2.2 Producción de Inoculantes en la Argentina

En Argentina existen alrededor de 120 empresas dedicadas a la producción de inoculantes.

También se observa un importante interés en la aplicación de fertilizantes e inoculantes, según encuestas realizadas por CEPAL en Buenos Aires: DeBisang, Stubrin & Anlló (2011).

En el siguiente cuadro, podemos observar la alicación de las tecnologías hoy:

ARGENTINA: INDICADORES GENERALES DE LAS EMPRESAS DE BIOTECNOLOGÍA, AÑO 2008-2009

(Miles de pesos, porcentajes y miles de dólares)

Actividad	Cantidad de Empresas	Ventas		Ventas Bio/Vent Total	Exportaciones	
		Totales	Biotechnológicas		Totales	Biotechnológicas
Inoculantes	29	332 911	170 373	51	9 600	8 600
Salud animal	6	387 331	212 238	55	43 593	5 824
Salud humana	24	1 475 515	273 295	19	87 718	43 736
Micropropagación	6	10 503	8 467	81	246	169
Fertilización Asistida	22	116 633	116 633	100	0	0
Insumos industriales	5	227 945	180 425	79	49 930	44 860
Semillas	14	12 231 011	2 166 104	18	1 526 574	157 904
Reproducción animal	14	116 220	14 580	13	71	71
Totales	120	14 898 069	3 142 116	21	1 717 732	261 164

Figura 1. Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe, sobre la base de datos de la 2da Encuesta Nacional de Empresas de Biotecnología, Oficina de la CEPAL en Buenos Aires.

La producción de inoculantes se conforma como una derivación de una necesidad asociada con el cultivo de la soja y otros desarrollos tecnológicos de diferentes cultivos, con una fuerte presencia de empresas PyMEs de capital local.

Un conjunto acotado de ellas no sólo reproduce bajo control las cepas, sino que también desarrollan sus actividades de I&D (investigación y desarrollo) en pro de utilizar dicha plataforma tecnológica en desarrollos complementarios.

4. Conclusiones

En vías a lograr una mayor productividad en las PyMEs agroindustriales dedicadas a la producción de inoculantes para las semillas, se requieren nuevas tecnologías emergentes de la industria 4.0, para que la producción de las empresas pueda mantener una actividad proactiva en las diferentes campañas de siembra. Esto permitiría diversidad de productos y aprovechamiento de la mano de obra, infraestructura productiva, continuidad de la logística y procesos de comercialización, a lo largo de todo un año de actividades.

Quizás esto impacte en desmedro de la producción del monocultivo de soja, siendo éste el más atrayente en la actualidad, pero como contrapartida, consideramos que la empresa pueda mantener estable y con alto rendimiento la producción de otros tantos productos que utilizan la infraestructura de la reproducción y esterilización de cada bacteria, como así también los procesos de envasado, packaging y logística.

Para lograr este objetivo, creemos que las nuevas tecnologías, resolverán una gran parte de las limitaciones que actualmente se presentan en la selección de las mejores alternativas para la eliminación de bacterias contaminantes.

Es importante considerar que los inoculantes que se producen en las industrias bio-agrícolas están conformados por bacterias que fijan y le disponibilizan el nitrógeno del aire a las plantaciones, reemplazando sí la actuación de fertilizantes tradicionales como la urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), y otros tantos originados de la industria agroquímica.

Ésta última, posee costos e impacto ambiental elevados por tratarse en gran parte de compuestos contaminantes.

Los cultivos que generan cuantiosa proteína requieren que las plantas necesiten más nitrógeno, que es justamente el resultado del proceso del uso de un buen inoculador.

Los cultivos aportadores de proteínas hoy son muy importantes porque la comunidad internacional, busca alternativas a las proteínas animales, Abalde, Cid, Fidalgo Paredes, Torres, & Herrero (1995).

5. Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de las empresas e instituciones que han permitido por medio de entrevistas favorecer la realización más adecuada del presente trabajo:

5.1 Biagro S.A. - Dra. Lic. Sandra Druman - www.biagro.com.ar

5.2 Crawford Keen & Company – Dr. Ing. Agr. Facundo Ramos Artuso - www.ckc.com.ar

5.3 CNEA, Ing. Julio Nicloli

6. Referencias bibliográficas

- Abalde, J., Cid, Á., Fidalgo Paredes, P., Torres, E., & Herrero, C. (1995). Microalgas: cultivo y aplicaciones. Universidade da Coruña, Servizo de Publicacións.
- Abadía Cutillas, C. (2023). Detección de tumores en imágenes médicas mediante transformers.
- Aranda, D. (2015). Tierra arrasada: Petróleo, soja, pasteras y megaminería. Radiografía de la Argentina del siglo XXI. Sudamericana.
- Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., & Garnero, P. (2018). Industria 4.0: fabricando el futuro (Vol. 647). Inter-American Development Bank.
- Bellandi, M. (2016). El distrito industrial de Marshall. En Pequeñas empresas y distritos industriales en Italia (pp. 136-152). Routledge.
- Bisang, R., Stubrin, L., & Anlló, G. (2011). Las empresas de biotecnología en Argentina.
- Casal Bejarano, C. (2010). Caracterización de la radiación ultravioleta en la provincia de Huelva e incidencia en la productividad y el valor biotecnológico de cultivos de interés comercial.
- García Garnica, A., & LARA RIVERO, A. A. (2009). Clúster y coo-petencia (cooperación y competencia) industrial: Algunos elementos teóricos por considerar. Problemas del desarrollo, 35(139).
- Gómez Ruggiero, A. E. (2019). Sistema de supervisión de herramientas mediante RFID en Industria 4.0 (Bachelor's thesis).
- Iermanó, M. J., & Sarandon, S. J. (2016). Rol de la agrobiodiversidad en sistemas familiares mixtos de agricultura y ganadería pastoril en la región pampeana argentina: su importancia para la sustentabilidad de los agroecosistemas.
- LÓPEZ, F., Duval, M. E., MARTÍNEZ, J., & Galantini, J. A. (2015). Cobertura en el sudoeste bonaerense en suelos bajo siembra directa. Ciencia del suelo, 33(2), 0-0.
- Marquina, M. E., Ramírez, Y., & Castro, Y. (2018). Efecto de bacterias rizosféricas en la germinación y crecimiento del pimentón *Capsicum annuum* L. Var. cacique gigante. Bioagro, 30(1), 3-16.
- Ordoñez, I., & Senesi, S. (2015). Campo: el sueño de una Argentina verde y competitiva. Aguilar.
- Paredes, M. C. (2013). Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas.
- Porter, ME (1998). Racimos. Innovación y competitividad: nuevos hallazgos e implicaciones para las políticas .
- Reboratti, C. (2010). Un mar de soja: la nueva agricultura en Argentina y sus consecuencias. Revista de Geografía Norte Grande, (45), 63-76.
- Vértiz, P. (2020). El agro argentino: modelo tecnológico, dependencia y soberanía.
- Viñals, M., & Villar, J. (1999). Avances en la formulación y aplicación de inoculantes bacterianos de uso agrícola. Cultivos tropicales, 20(4), 9-17.