



UNIVERSIDAD TECNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA Y
VETERINARIA
CARRERA DE AGRONOMÍA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito
previo para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

Importancia de la biotecnología aplicada para el mejoramiento
genético del arroz (*Oryza sativa* L.)

AUTOR:

Nemias Jonathan Rivera Pazmiño

TUTOR:

Ing. Agr. Walter Oswaldo Reyes Borja Ph.D.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2024

RESUMEN

El cultivo del arroz *Oryza sativa* es uno de los alimentos más importantes en todo el mundo. En este momento, se espera que la demanda de arroz aumente un 40% para el año 2030. Demanda que sólo se podría satisfacerse al incrementar el área cultivada actual, o la colonización para nuevas áreas destinadas a la producción del cultivo. Esto, sin incurrir en los diferentes factores biótico y abiótico que por sí mismos limitan la producción. Una forma de incrementar la producción en la misma área de cultivo están las herramientas de biotecnología. Estas contribuyen desde los años 70 hasta la actualidad. El mejoramiento genético logra nuevas variedades mejoradas que contribuyen a disminuir los riesgos económicos del cultivo plantado. Su beneficio se ve reflejado en el ambiente hasta dotar de características de adaptabilidad en suelos y ambiente donde el cultivo no se desarrolla de forma natural. Este trabajo de revisión bibliográfica consiste en indicar cuáles son las principales herramientas biotecnológicas, y cuál es la más usada en el mejoramiento genético de plantas. Las principales herramientas biotecnológicas utilizadas para la producción de plantas de arroz *O. sativa* están la de cultivo de tejidos, (organogénesis y la embriogénesis) la Transgénesis, la cisgénesis. Estas dos últimas herramientas de propagación incluyen genes de fuera o dentro de las especies de la planta que contribuyen a una mejor adaptabilidad de la planta del arroz a las condiciones normales a las que se desarrollan tornándolas tolerantes y produciendo mayor productividad.

PALABRAS CLAVES: Transgénesis, cisgénesis, cultivo de tejidos

SUMMARY

The cultivation of *Oryza sativa* rice is one of the most important foods in the world. At this time, the demand for rice is expected to increase by 40% by 2030. Demand that could only be satisfied by increasing the current cultivated area, or the colonization of new areas for the production of the crop. This, without incurring the different biotic and abiotic factors that in themselves reduce production. One way to increase production in the same crop area is biotechnology tools. These contribute from the 70s to the present. Genetic improvement produces new improved varieties that contribute to reducing the economic risks of the planted crop. Its benefit is reflected in the environment until it provides adaptability characteristics in soils and environments where the crop does not develop naturally. This bibliographic review work consists of indicating which are the main biotechnological tools, and which is the most used in the genetic improvement of plants. The main biotechnological tools used for the production of *O. sativa* rice plants are tissue culture, (organogenesis and embryogenesis), transgenic, and cisgenic. These last two propagation tools include genes from outside or within the plant species that contribute to better adaptability of the rice plant to the normal conditions to which they develop, making them tolerant and producing greater productivity.

KEY WORDS: Transgenic, cisgenic, tissue-cultivation

CONTENIDO

RESUMEN	II
SUMMARY	III
1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	4
2. DESARROLLO	5
2.1. MARCO CONCEPTUAL.....	5
2.1.1 Generalidades	5
2.1.2. Razones de uso del mejoramiento genético.....	5
2.1.3. Herramientas biotecnológicas para la producción del cultivo del arroz	7
2.1.3.1 Cultivo de tejidos	7
La organogénesis.-	7
La embriogénesis.-	8
2.1.3.2 Cisgénia.....	9
2.1.3.4 Transgénia.....	10
2.1.3.1 Intrangenia.....	11
2.2. METODOLOGÍA	12
2.3. RESULTADOS	13
2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	14
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	15
3.1. CONCLUSIONES	15
3.2. RECOMENDACIONES	17
4. REFERENCIAS Y ANEXOS	18
4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

La calidad y producción de alimentos agrícola es importante en el presente y futuro debido al aumento de la población mundial la cual esta estimada en 9.7 mil billones de personas en el 2050 según el Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA 2024).

Todo indica que es necesario el incrementar la producción de alimentos que demandará esta población, y queda solo dos caminos, uno, la expansión de tierras cultivables, o dos, el incremento en el rendimiento en la producción de los cultivos (León *et al.* 2021).

Uno de esos cultivos, es el arroz *Oryza sativa* L, considerado como uno de los alimentos básicos más importantes en el mundo y que contribuye a la dieta de la mitad de la población mundial. Siendo que este cultivo se ve afectado por factores bióticos y abióticos que reducen su producción y es el uso de herramientas biotecnológicas que puede comúnmente contribuir en el mejoramiento a mitigar esos impactos y además, aumenta su producción (Cohen y Leach 2019).

Dentro de las técnicas biotecnológicas más comúnmente utilizadas en para mejorar el cultivo del arroz se destacan las técnicas de cultivo de tejidos (anteras), la cisgénia, transgénia, Intragenia, (Pingbo 2022).

Todas estas herramientas tecnológicas apremian características como la resistencia a las principales plagas, tolerancia a estrés biótico y abiótico, productividad, tolerancia a la salinidad, tolerancia a herbicidas, además, del mejoramiento nutricional es aquí la importancia de los bancos de germoplasmas de las principales instituciones de investigación de cada país (Almeida 2019).

Estas características antes mencionadas benefician al incremento agrícola según todos los últimos autores mencionados. Peculiaridad, que hace que la

producción agrícola actual y futura considere a estas herramientas biotecnológicas suficientes y capaces de contribuir a reducir la necesidad de alimentación mundial como lo es en el cultivo del arroz.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El arroz *Oryza sativa* L. al ser un alimento primordial para la alimentación humana y es imperioso realizar estudios de variedades de arroz que incremente su producción por unidad de área. El mejoramiento genético de plantas permite obtener plantas de mejor calidad y de considerable adaptabilidad a los factores bióticos y abiótico que limitan la producción.

Las enfermedades y los insectos-plagas son los factores bióticos que más limita la producción del cultivo del arroz, seguido de la salinidad como factor abiótico. Para enfrentar estos desafíos, surgen diferentes tipos de herramientas biotecnológicas que permite obtener variedades mejoradas que toleran de mejor forma estos tipos de factores.

La falta de conocimiento y apoyo de parte de los gobiernos hacia los agricultores e investigadores hacen que este tipo de investigaciones que son demoradas no cuenten con recursos necesarios para generar variedades de arroz que ayude a tolerar mejor las condiciones adversas que actualmente enfrenta el productor arrocero.

Las herramientas biotecnológicas ayudan a mejorar la productividad y deben ser requeridas desde el agricultor para exigir recursos para las instituciones de investigaciones por parte del Gobierno y que se inicie y continúe con programas constante de mejoramiento usando las diversas herramientas tecnológicas usadas actualmente para mejorar la producción del cultivo del arroz en el Ecuador.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El mejoramiento genético contribuye a lograr nuevas variedades mejoradas las mismas que contribuyen a disminuir los riesgos económicos del cultivo plantado. Su beneficio se ve reflejado en el ambiente pues contribuye a una mejor aplicación de plaguicidas hasta dotar de características de adaptabilidad en suelos y ambiente donde el cultivo no se desarrolla de forma natural.

Por tal motivo, es importante que se indague sobre las diferentes herramientas biotecnológicas aplicadas para el mejoramiento genético del cultivo del arroz hasta la actualidad. Pero, sobre todo, para que algunas de las herramientas tecnológicas sean consideradas por todos debe ocurrir dos factores 1) un cambio en el estado regulatorio de los cultivos transgénicos en los países, y 2) que estos sean aceptados por parte de los consumidores.

Sin embargo; en los últimos años aparece también la edición génica que es otra manera de mejorar características en los vegetales, con mejor aceptación de la técnica, ya que no se compara al resultado que se obtiene con los métodos transgénicos. La edición génica modifica genes en específicos en sectores del ADN donde algunas enzimas de restricción como CAS9 ayudan a cortar y a la vez un ARN guía permite editar la cadena con las bases correspondientes al gen a modificar. En la actualidad es una técnica que ha revolucionado la biotecnología brindando en pocos años desde su descubrimiento algunos cultivos importantes para la producción agrícola (Reyes-Borja W.O. 2024)

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- Describir la importancia de la biotecnología aplicada al mejoramiento genético aplicada a la producción del arroz.

1.3.2. Objetivos específicos

- Señalar y describir las herramientas biotecnológicas usadas en el mejoramiento genético del cultivo del arroz.
- Identificar cultivares de arroz y las características mejoradas como productos de la investigación utilizando herramientas biotecnológicas.

1.4. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Dominio: Recursos Agropecuarios, ambiente, biodiversidad, y biotecnología.

Líneas: Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable.

Sublínea: Agricultura sostenible y sustentable

2. DESARROLLO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 Generalidades

El mejoramiento genético de las plantas es de interés agrícola ya que busca generar innovación en el sector agroalimentario para obtener líneas mejoradas con altas valoraciones agronómicas, que ayude a aumentar la productividad y competitividad del campo alimentario mundial (Torres y Durando 2019).

2.1.2. Razones de uso del mejoramiento genético

Para incrementar y mejorar la producción en los cultivos se ha optado por el uso de herramientas tecnológicas. Mejoramiento que desde su inicio persigue la resistencia a factores que disminuyen la producción de tipo biótico y abiótico de los cuales se enlistan a continuación:

El mejoramiento de variedades de arroz resistentes a los insectos ha sido fundamental para el manejo integrado de plagas, ya que ofrece un enfoque ecológicamente viable frente a las limitaciones bióticas. Según Makkar et al. (2019) se busca activamente enfoques alternativos como la hibridación para ampliar la resistencia de otras especies de *Oryza*, y es el enfoque transgénico el más optado para implementar una base sólida para la selección directa y el mejoramiento varietal a través del mejoramiento molecular.

El cultivo del arroz es atacado por un sinnúmero de enfermedades. Las bacterias fitopatógenas es un grupo de ellas, las mismas que afectan a la productividad del cultivo cuyo agente causal más conocido es *Xanthomonas oryzae*, que causa pérdidas en el rendimiento que pueden llegar hasta el 50%.

Según Fiyaz et al. (2022) se ha llevado a cabo muchos estudios con respecto a la herencia de la resistencia contra el patógeno *X. oryzae* en diferentes líneas donantes de arroz en todo el mundo. Esto, con la finalidad de caracterizar y

diferenciar los genes de resistencia a partir de parientes silvestres, variedades de arroz locales, plantas mutantes y especies cultivadas que confieran resistencia contra diferentes cepas de la bacteria donde se consiguió cultivares con la resistencia a enfermedades con diferentes tipos de proteínas como la leucina y el receptor quinasa.

El mejoramiento genético sigue siendo un desafío importante en los trópicos de los países productores de arroz. Según Saito *et al.* (2018) menciona que los programas de mejoramiento del cultivo del arroz han desarrollado variedades de alto rendimiento utilizando materiales índicos y japonicos teniendo como rasgos clave e importantes de estas plantas la capacidad de macollamiento y la supresión de malezas dando como resultado un alto índice de cosecha.

El principal problema que enfrentan los suelos costeros en diferentes cultivos, son concernientes a la salinidad de los suelos cultivables. Condición que afecta al 10% a los suelos agrícolas a nivel mundial y en el Ecuador principalmente a las provincias Santa Elena y el Guayas. La salinidad de los suelos genera de forma natural la acumulación de sales como: cloruros de sodio, sulfatos y carbonatos entre otros.

Según Torres y Durando (2019) cultivos con tolerancia a la salinidad buscan establecer los límites máximos y mínimos tolerables a salinidad presente en el suelo y así implantar los cultivos deseados a fin de garantizar la mejor tasa de supervivencia y productividad de las plantas en campo.

La adaptación de cultivos a altas o bajas temperaturas es realmente importante para mantener la productividad o, plantar cultivares a distintas zonas agrícolas durante todo el año. El incremento en la tasa de respiración en relación a la tasa fotosintética por los efectos de las altas temperaturas produce efectos adversos en el cultivo produciendo un sinnúmero de efectos negativos en los cultivos como la reducción de la viabilidad del polen, aborto de flores y furtos reducción del tamaño de la semilla y otros (Rosas *et al.* 2000).

Las tensiones ambientales limitan en gran medida el rendimiento de los cultivos. Con el aumento de los fenómenos meteorológicos extremos debido a El cambio climático y la presión constante de organismos plagas, existe una necesidad urgente de desarrollar variedades de cultivos que pueden tolerar múltiples estreses como el de la temperatura (Cohen y Leach 2019).

Según Rosas *et al.* (2000) el cruzamiento para desarrollar líneas de mejoramiento genéticos de cultivares de arroz tolerantes a diferentes temperaturas es asegurar que poblaciones las segregantes reúnan características de media o alta resistencia a temperaturas mejorando así de segregante en segregante las características deseadas. Las mismas que están regida por los fenómenos hereditarios, del medio ambiente y su interacción entre sí.

2.1.3. Herramientas biotecnológicas para la producción del cultivo del arroz

Existen diferentes herramientas biotecnológicas para realizar mejoramiento genética vegetal. La biotecnología y la ingeniería genética se utilizan ya a más de tres décadas en la agricultura en el contexto del mejoramiento genético vegetal con el propósito de obtener cultivos en un mejor tiempo y de mejor calidad. Las técnicas biotecnológicas más comúnmente utilizadas en para mejorar el cultivo del arroz se registran las técnicas de cultivo de tejidos, la cisgénica, transgénica, intragenia (Tamang *et al.* 2018, Mateluna *et al.* 2018).

2.1.3.1 Cultivo de tejidos

Hoy en día se sabe que la herramienta de biotecnología del cultivo de tejidos vegetal es la mejor tecnología para la producción de gran número de plantas idénticas, o también llamadas de clones. Existen dos métodos biológicos, la organogénesis y la embriogénesis, que se han explotado en el cultivo de tejidos vegetales desde los años 70 (Pingbo 2022).

La organogénesis.-

Según Henke *et al.* (1978) verificaron la eficiencia de la organogénesis en la

formación de plántulas de arroz *O. sativa* a partir de callos derivados de los órganos botánicos de la planta. Los autores, indujeron callos en diferentes órganos somáticos como la raíz y hojas. La concentración óptima de 2 mg/l de diclorofenoxiacético resulto suficiente para la inducción y el crecimiento de callos derivados de raíces y para los derivados de hojas de 6 mg/l.

Estas concentraciones indujeron a la organogénesis de raíces y brotes en callos derivados de raíces y hojas al final del experimento (Henke *et al.* 1978).

Conveniente Manickavelu *et al.* (2006), lograron mediante la herramienta biotecnológica de la organogénesis, la una inducción de callos productores extracelulares de cianobacterias que son microorganismos fotosintéticos procarióticos que producen una amplia gama de sustancias, incluidos reguladores del crecimiento de las plantas. La utilización de la cianobacterias conlleva a la inducción temprana de callos cuando comparada con el uso de diclorofenoxiacético independientemente de la variedad de arroz usada para el experimento.

La embriogénesis.-

También conocida como embriogénesis somática, es de notable interés para aplicaciones biotecnológicas como la propagación clonal, las semillas artificiales y la ingeniería genética. Cuando esta herramienta biotecnológica se integra a programas de mejoramiento convencionales y técnicas de biología molecular y celular, proporciona un aporte valioso para el mejoramiento genético de los cultivos (Quiroz-Figueroa *et al.* 2006).

Actualmente, reconocen dos tipos de embriogénesis somáticas, la primera embriogénesis somática directa (ESD) y embriogénesis somática importada indirecta (ESI). La ESD se caracteriza por la inducción de embriones somáticos directamente a partir de células proembriogénicas de hojas, tallo, microsporas o protoplastos sin proliferación de callos, mientras que en el ESI los embriones somáticos que se desarrollan a partir de callos embriogénicos friables (Vega *et al.* 2009)

Vega et al. (2009) reportan éxito en la utilización de callos embriogénicos de arroz *O. sativa* a partir de cultivos de embriones cigóticos maduros suplementado con 2,5 mg/l de ácido 2,4-diclorofenoxiacético. El análisis histológico reportado reveló que después de dos semanas el cultivo de espantes produciendo callos y comenzó el desarrollo de embriones en la región periférica de los callos indicando más una herramienta biotecnológica de éxito probado en el cultivo del arroz.

2.1.3.2 Cisgénia

La cisgenia se diferencia de la transgénia en el origen de los genes que se introducen. El gen introducido junto a sus elementos genéticos inalterados proviene de una planta de la misma especie o de especies sexualmente compatible.

Con el objetivo de hacer que esta importante tecnología de transferencia de genes sea más aceptable para la opinión pública y reducir la probabilidad de riesgo de las plantas generadas y, en consecuencia, reducir los costos relacionados con la bioseguridad, estos nuevos procesos de transformación llamados cisgenicidad se desarrollaron como alternativas a la transgénesis. Plantas cisgénicas se producen de la misma manera que las plantas transgénicas, sin embargo, solo se utilizan genes de la misma especie o de especies sexualmente compatibles, siendo las plantas resultantes de estos procesos similares a las plantas obtenidas mediante fitomejoramiento convencional (Martinelli, 2015).

Actualmente, existe un gran debate entre algunos científicos y proponentes de organismos genéticamente modificados "GM", ellos están promoviendo una rama de la ingeniería genética que han denominado "cisgenia" la cual sólo usa genes de la especie que va a ser manipulada, o de especies relacionadas entre sí. Ellos dicen que los OGMs cisgénicos son más seguros y tienen más aceptación pública que los OGMs transgénicos, por el hecho de que no se introducen genes extranjeros (Cohen y Leach 2019).

La cisgenia pasa por un procedimiento que desarrolla la tecnología del DNA recombinante. Se utiliza genes de especies que puedan ser cruzadas

naturalmente. Un de los casos clásicos de cisgenia es la introducción de un gen resistente al hongo patógeno *Phytophthora* que se encuentra presente en la papa salvaje que no se encuentra en papas comerciales. Cuya investigación fue realizada por el Instituto Plant Research International (PRI) de la Universidad de Wageningen, en el país de Holanda actualmente conocido como Países Bajos (Brandani, 2016).

Tamang *et al.* (2018) informa que incorporaron de forma exitosa de un gen de resistencia a la enfermedad *Burkholderia glumae*. Esta enfermedad producida por una bacteria, causa la pudrición de granos y plántulas en el cultivo del arroz. Una variedad de arroz élite mediante el uso de la cisgénesis generó descendientes con características de resistencia a enfermedad. Estas poseen un nuevo gen que no permite que la enfermedad se manifieste en las nuevas plantas de arroz.

2.1.3.4 Transgénica

Mateluna *et al.* (2018) reportó el éxito del aislamiento y caracterización de una proteína de tipo estructural de clase I y II, permitiera que el cultivo del arroz inoculados con estas proteínas pudiese desarrollarse de mejor forma que especies silvestres en suelos con características salinas. El estrés biótico a causa de la salinidad de los suelos impide que se produzca mayor rendimiento de arroz por lo que este programa de mejoramiento genético en especies de importancia agronómica como el arroz lo hace una herramienta indispensable en la producción de alimento a nivel mundial.

La presencia constante de malezas en el cultivo del arroz ha sido un problema importante en su producción. Diferentes especies de malezas están presentes desde el inicio hasta el final del cultivo. Según Lilge *et al.* (2003) identificaron semillas de arroz genéticamente resistentes al herbicida glufosinato de amonio. Mediante la utilización de sustrato humedecido con este herbicida las semillas de arroz de algunas variedades fueron determinadas como semillas de arroz resistentes al herbicida glufosinato de amonio. Los autores sugieren que

cultivar este tiempo de plantas ayuda a mantener cultivos libres de malezas haciéndolo más competitivo.

2.1.3.1 Intrangenia

La intrangenia es también cuando se introduce un gen sexualmente compatible, pero se han cambiado sus elementos genéticos por otros que también son del organismo de donde proviene el gen (Rommens et al 2004).

Los métodos de transferencia génica son los mismos utilizados para la transgenia. Los genes y las regiones regulatorias utilizadas en la construcción génica pertenecen a la misma especie o especies sexualmente compatibles. Entretanto, regiones codificadas y regulatorias pueden ser organizadas de manera diferente de la encontrada en el genoma original formando un gene híbrido (De Vasconcelos *et al.* 2019).

La intragénica implica que sólo genes dentro del genoma de una sola especie son manipulados. Mismo siendo posible aislar un gen del arroz, por ejemplo y ponerlo de vuelta en el cultivo de arroz, esto no va a ser un proceso solamente intragénico. Esto es porque para poner de vuelta el gen en el cultivo de arroz, es necesario vincularlo a otras secuencias al menos de bacterias, virus, o cualquier otro organismo a un ADN sintético. De forma inevitable, el gen intragénico usa secuencias de otros organismos.

La intrangenia puede ser definida como a utilización de elementos genéticos específicos de una planta, recombinación de estos elementos in vitro e inserción de los casetes de expresión resultantes en una planta perteneciente a los mismos grupos de compatibilidad sexual. La intrangenia es menos restrictiva que la cisgenia y ofrece considerablemente mayores opciones para modificar la expresión del gene al permitir combinaciones entre ellos (Rommens *et al.* 2004).

La introducción de genes de las mismas plantas más un gen adicional a permitido obtener variedades de plantas que producen un mayor valor nutricional y la capacidad de defenderse de organismos plagas. La intrangenia ha permitido que

cultivos pobres nutricionalmente y atacados por organismos plagas puedan producir alimentos sanos y abundantes para la población donde se lleva a cabo este tipo de investigación (Rommens et al 2004).

2.2. METODOLOGÍA

El presente documento es la base de componente práctico que se efectuará con la recopilación de todo tipo de información a modo de investigación bibliográfica, en las diversas fuentes de información como páginas web, tesis, artículos científicos, libros y documentaciones disponibles en las plataformas digitales.

La información conseguida será desarrollada mediante la técnica de lectura crítica, análisis, síntesis y resumen, con el único propósito de responder la investigación específica en los objetivos del proyecto propuesto, que lleva por temática *“Importancia del desarrollo sustentable en la producción agrícola”*. Destacando de esta manera su importancia y fundamentos generales para el consentimiento académico y social del lector.

2.3. RESULTADOS

Las principales herramientas biotecnológicas utilizadas para la producción de plantas de arroz están la de cultivo de tejidos, (organogénesis y la embriogénesis) la Trasngénia, la cisgénia.

El cultivo de tejidos es el método de reproducción más usado en la multiplicación en el cultivo del arroz. Mismo, que este método se usa desde finales de los 70 hasta la actualidad. El cultivo de tejidos es el método que registra el mayor numero de investigaciones y protocolos de propagación. Sin embargo, a inicios de los años 2000 hasta la actualidad la ingeniería genética a evolucionado con métodos cada vez más rápidos y eficientes como los es en el caso de las cisgénia y Trasngénia que son las otras dos herramientas de multiplicación o clonación de plantas para el cultivo del arroz.

Estas dos últimas herramientas de propagación incluyen genes de fuera o dentro de las especies de la planta que contribuyen a una mejor adaptabilidad de la planta del arroz a las condiciones normales a las que se desarrollan tornándolas tolerantes y produciendo mayor productividad.

Ciertamente, las herramientas biotecnológicas han contribuido positivamente a elevar contenidos nutricionales que las plantas, sumado a una protección contra organismos plagas que antes no tenían han permitido incrementar la producción de este tipo de cultivo asegurando las cosechas a los productores y proveyendo alimentos ricos y saludables al consumidor.

Las investigaciones en el uso de estas herramientas biotecnológicas han contribuido a aumento del área planta al obtener cultivo de arroz tolerantes a los factores bióticos y abiótico en las cuales actualmente se cultiva esta gramínea.

2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las herramientas biotecnológicas más utilizadas para la reproducción del cultivo del arroz está el cultivo de tejido donde se reporta el método de organogénesis y la embriogénesis, que se han explotado desde los años 70. Los métodos más modernos donde se involucra la ingeniería genética y actuales en la reproducción de plantas del cultivo del arroz, están la Transgéncia y la cisgéncia (Pingbo 2022).

Resultados más contundentes se obtienen cuando se comprueban que las herramientas biotecnológicas aplicadas al cultivo del arroz *O. sativa* son viables para el incremento de la producción ya que usar estas tecnologías nos permitirá tener cultivos resistentes a la salinidad y a diferentes plagas (Tamang *et al.* 2018)

Sinnúmeros de cultivares de arroz se han desarrollado nivel mundial. Cultivares resistentes a salinidad, y organismos plagas son los que predominan y los mismo han llevado a incrementar el área producida gracias a las mejores condiciones de adaptabilidad y defensa que han obtenido estas nuevas variedades de arroz (Mateluna *et al.* 2018).

El uso de una de las herramientas biotecnológicas como la transgéncia o también conocida como cultivos transgénicos en el Ecuador no son permitidas por la constitución del Ecuador del 2008. Sim embargo, se constata el gran aporte de esta herramienta tecnológica y se debe considerar que países como Brasil, Uruguay entre otro elevan su producción por el aumento de la producción y sobre todo, el incremento área de suelo que anteriormente no se sembraba. Estos hechos generan interrogantes sobre la sostenibilidad de esta posición como país productor de esta gramínea. .

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIONES

Con respecto a los resultados obtenidos, se realizan las siguientes conclusiones:

✓ La herramienta biotecnológica más usada es el cultivo de tejidos vegetales. Esta es una importante herramienta biotecnológica que contribuye en la producción de plantas mejoradas. Este tipo de cultivo es un método de reproducción de tejido vegetal que más permite rescatar y propagar algunas especies de plantas que se sitúan como raras y o casi extintas. Finalmente, esta técnica de multiplicación de tejido puede implementársela durante todo el año y en condiciones libres de organismos plagas.

✓ Otras herramientas biotecnológicas que son utilizadas para mejorar la resistencia del cultivo de arroz tanto para factores bióticos como abióticos son la Trasngénia y la cisgénia. El uso de la Trasngénia reporto exitosamente el aislamiento y caracterización de una proteína de tipo estructural de clase I y II, permitió que el cultivo del arroz sea inoculado con estas proteínas contribuyendo en una mejor especies suelos con características salinas.

✓ En cuanto a la cisgenia al incorporaron genes de resistencia a la enfermedad causada por la bacteria *B. glumae*, se evitó pudrición de granos y plántulas en el cultivo del arroz.

✓ Ciertamente podemos concluir que las diferentes herramientas tecnológicas aplicadas al cultivo del arroz han permitido incrementar la producción de esta gramínea asegurando una buena cosecha al productor y garantizando productos de calidad al consumidor.

✓ Actualmente, el cultivo del arroz cuenta con diferentes herramientas de la biotecnología que les permite tolerar los tipos de factores que limitan su producción y es aquí que la ingeniería genética es usada para la generación de cambios específicos en beneficio de los productores.

✓ Las herramientas biotecnológicas modifican y potencializan genes de interés de ciertos organismos. La introducción de uno o más genes de cualquier

otro organismo en la naturaleza permite producir una proteína que antes no existía y de esta forma mejora una característica de interés específico para la obtención de: 1) plantas resistentes organismo plagas, 2) tolerancia a ciertos plaguicidas y 3) mejora de las características nutricionales de preferencia.

3.2. RECOMENDACIONES

✓ La utilización de herramientas biotecnológicas es el método de reproducción de plantas más prominentes actualmente. El cultivo de tejidos es el principal método de reproducción vegetal para el cultivo del arroz, la ingeniería genética es fundamental para el aumento de la producción de las variedades locales.

✓ La ingeniería genética mediante la Transgéncia y la cisgéncia abre un nuevo horizonte para el aumento de la producción del cultivo en todo el mundo y sobre todo, a la tolerancia de los factores que reducen su productividad independientemente si son de característica biótica o abiótica.

✓ Todas las investigaciones aplicando los métodos de propagación del cultivo del arroz han conllevado a una mayor producción de alimento y al aumento de productos abundante a la población.

✓ Las herramientas ingeniería genética ayudan al incremento de la producción por lo que se debe considerar este tipo de herramientas de producción vegetal para otros cultivos de demanda de consumo humano.

✓ El Ecuador debería abrir la posibilidad de reformar la constitución y permitir el uso de cultivos transgénicos para ser competitivo como nuestros países vecinos. Esto permitirá el uso de suelos para el caso del cultivo del arroz que se encuentre con alto contenidos de sales sean productivos y se genere fuentes de empleo en las zonas arroceras con este tipo de problemas.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, I. B. P. 2019. Aportes de la biotecnología al mejoramiento del arroz en Ecuador. Revista Científica ECOCIENCIA. v, 6. n, 5. p. 1 - 22.
- BRANDANI, A. 2024. Arquivos transformação genética Acesso el 13 Marzo. 2024.CIB. Disponível en DOI: <https://cib.org.br/tag/transformacao-genetica/>.
- Cohen, Stephen P.; Leach, Jan E. 2019 Abiotic and biotic stresses induce a core transcriptome response in rice. Scientific reports. v. 9, n. 1, p. 1 – 11.
- De Vasconcelos, M. J. V.; Carneiro, A. A.; Figueiredo, J. E. F. 2019. Transgenia, cisgenia e intragenia: diferenças e implicações para a biossegurança. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. p, 14.
- Fiyaz, R. A., Shivani, D., Chaithanya, K., Mounika, K., Chiranjeevi, M., Laha, G. S., Sundaram, R. M. 2022. Genetic improvement of rice for bacterial blight resistance: Present status and future prospects. Rice Science. v, 29. n, 2. p, 118 - 132.
- Henke, R R.; Mansur, M. A.; Constantín, M. J. 1978. Organogenesis and Plantlet Formation from Organ-and Seedling-Derived Calli of Rice (*Oryza sativa*). Physiologia plantarum. v, 44. n, 1. p. 11 - 14.
- León, M. J M., García-Morales, S. Mora, A. G., Castañeda-Nava, J. J., Rout, P., Rodríguez, D. J. M., Massange S. J. A., González, B. R., Enriquez V. J. N., Rincón, E. G. 2021. Tópicos de Herramientas Biotecnológicas para el Desarrollo Agrícola. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. 2021. Guadalajara, Jalisco, México. 99p.
- Lilge, G. C., Tillmann, M., A., Villela, F. A., Dode, L. B. 2003. Identificação de sementes de arroz transformado genéticamente resistente ao herbicida glufosinato de amônio. Revista Brasileira de Sementes, v. 25. n, 1. p, 87 – 94.
- Mammadov, J., R. Buyyarapu, S. K. Guttikonda, K. Parliament, I. Y. Abdurakhmonov, and S. P. Kumpatla. 2018. Wild relatives of maize, rice, cotton, and soybean: treasure troves for tolerance to biotic and abiotic stresses. Frontiers in plant science. v, 9. p, 1 - 29.
- Manickavelu, A., Nadarajan, N., Ganesh, S. K., Ramalingam, R., Raguraman, S.,

- Gnanamalar, R. P. 2006. Organogenesis induction in rice callus by cyanobacterial extracellular product. *African Journal of Biotechnology*. v,5. n, 5. p, 437 - 439.
- Martínez, Q. 2010 Deyanira. Efecto de la inhibición de la trealasa por RNA antisentido sobre la tolerancia a sequía en arroz (*Oryza sativa* L.). 2010. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León. 130p.
- Mateluna, C. R. A., Ruiz, L., S., Del Pozo L, A. 2018. Aislamiento y caracterización del gen Os07g0511100 de arroz *Oryza sativa* L. que codifica para un precursor de una proteína rica en glicina. Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía.). pp 67.
- Muthayya, S., Rah, J. H., Sugimoto, J. D., Roos, F. F., Kraemer, K., Black, R. E. 2013. The global hidden hunger indices and maps: an advocacy tool for action. *PLoS one*. v, 8. n, 6. p, 1 - 12.
- Pérez-Almeida, I., Celi, R., Sánchez, F., Paz, L., Ramos, B. 2019. Assessment of molecular genetic diversity of Ecuadorian rice cultivars using simple sequence repeat markers. *Bioagro*. v, 31. n, 1. p, 3 - 12.
- Pingbo, L., Buyyarapu, R., Guttikonda, S. K. Parliament, K., Abdurakhmonov, I. Y., Kumpatla, S. P. 2022. Development and Application of Intragenic Markers for 14 Nitrogen-Use Efficiency Genes in Rice (*Oryza sativa* L.). *Frontiers in Plant Science*. v, 13. p, 1 - 21.
- Quiroz-Figueroa, F.R., R. Rojas-Herrera, R.M. Galaz-Avalos, V.M. Loyola-Vargas 2006. Embryo production through somatic embryogenesis can be used to study cell differentiation in plants. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 86: 285-301.
- Rommens, C. M.; Humara, J. M.; Ye, J.; Yan, H. 2004. Crop improvement through modification of the plant's own genome. *Plant Physiology*, v. 135, p. 421 - 431, 2004.
- Reyes-Borja W.O. 19 enero 2024. Comunicación personal. Babahoyo, Ecuador, Universidad Técnica de Babahoyo.
- Rosas, J. C., Castro, A., Beaver, J. S., Pérez, C. A., Garcés, A. M., Ildfonso, R. L. 2000. Mejoramiento genético para tolerancia a altas temperaturas y resistencia a mosaico dorado en frijol común. *Agronomía mesoamericana*. v,11. n,1. p, 1 - 10.
- Saito, K., Asai, H., Zhao, D., Laborte, A. G., Grenier, C. 2018. Progress in varietal

- improvement for increasing upland rice productivity in the tropics. *Plant Production Science*. v, 21. n, 3. p, 145 - 158.
- Shew, A.M., Nalley, L.L., Danforth, D.M., Dixon, B.L., Nayga, R.M., Jr, Delwaide, A.-C. and Valent, B. 2016. Are all GMOs the same? Consumer acceptance of cisgenic rice in India. *Plant Biotechnol J*. v, 14. p, 4 - 7.
- Tamang, T., Park, J., Kakeshpour, T., Valent, B., Jia, Y., Want, G., Park, S. 2018. Development of selectable marker-free cisgenic rice plants expressing a blast resistance gene Pi9. *World Con-Gress Vitro Biology*. v. 54. p, 544.
- Torres, P. M. P., Durango, B. E. 2019. Tolerancia al estrés salino en plantas de ñame espino (*Dioscorea rotundata*. Poir). pp, 73-94. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.21892/9789585547063.5>
- UNFPA, 2024. Fondo de Población de las Naciones Unidas. Consultado el 12 de enero del 2024. Disponible en DOI: <https://www.unfpa.org/data/world-population-dashboard>
- Vega, R., Vásquez, N., Espinoza, AM, Gatica, AM y Valdez-Melara, M. 2009. Histología de la embriogénesis somática en arroz (*Oryza sativa* cv. 5272). *Revista de Biología Tropical*, v. 57. p, 141 - 150.
- Wang, Y., Johnston, S. 2007. The status of GM rice R & D in China. *Nature Biotechnology*. v, 25, n, 7. p, 717 – 718.