**Ingeniería Genética de la Quinua para Resistencia al Estrés Abiótico: Avances en la Identificación y Validación de Genes NHX**

**M.Sc. Candia Valeria**

**Instituto de genética (GYU)**

**Abstract**

Quinoa (Chenopodium quinoa) stands out for its ability to grow under extreme environmental conditions. This study summarizes recent advances in the genetic modification of this crop, focusing on the identification of NHX (sodium/hydrogen antiporter) genes that regulate tolerance to salt stress and drought. The findings demonstrate how genome editing and bioinformatics are enabling the development of improved varieties, with direct implications for food security in arid areas.

|  |  |
| --- | --- |
| 1. **Introducción**   El 45% de las tierras agrícolas globales sufren estrés abiótico, principalmente salinidad y sequía. La quinua, con su genoma secuenciado en 2017, emerge como modelo para estudios de resiliencia. Sus genes NHX, responsables del transporte vacuolar de Na+ y K+, representan blancos estratégicos para la ingeniería genética orientada a mejorar cultivos en zonas áridas[. [3]](#Tres)   1. **Metodología**   **Identificación de Genes Clave**   1. Secuenciación genómica: Se utilizó el genoma de referencia de la variedad Real 4, complementado con datos transcriptómicos de tejidos expuestos a estrés salino y sequía.   Se realiza la identificación de 10 genes NHX mediante herramientas como BLAST, clasificados en tres subfamilias [[6]](#Seis)   1. Análisis bioinformático: Identificación de 10 genes NHX mediante herramientas como BLAST y Phytozome, seguido de análisis filogenético y de motivos reguladores 25. [[1]](#Uno) 2. Validación funcional: Expresión transgénica en Arabidopsis thaliana y ensayos en la variedad Him Shakti, expuesta a concentraciones de NaCl de 0-300 mM | *Figura 1. Perfil transversal de los transectos en el período de 2013 a 2015.*   1. **Resultados**   Mecanismos Genéticos de Resistencia:  • Genes NHX: Los 10 genes identificados se clasifican en tres subfamilias según su localización celular (vacuolar, plasmática, endosómica). Su expresión se regula por elementos cis en promotores, asociados a señales de estrés abiótico y fitohormonas. [[5]](#Cinco)  • Transporte iónico: Las proteínas NHX facilitan el secuestro de Na+ en vacuolas, reduciendo la toxicidad celular. La variedad Him Shakti mostró un 40%.[[7]](#Siete)  • Edición genética: La inserción del gen NHX1 en Arabidopsis aumentó su supervivencia en suelos con 200 mM de NaCl, confirmando su papel en la homeostasis iónica 1.  Desarrollo de Variedades Mejoradas  • Híbridos tolerantes: La Universidad Brigham Young desarrolló híbridos que crecen en suelos con pH 8.5-9.0 y |

|  |  |
| --- | --- |
| conductividad eléctrica >10 dS/m, manteniendo rendimientos de 2.5-3 t/ha .    *Figura 2. Descripción de la combinación en los experimentos, la disposición del alimento va de una a tres zonas de alimentación más una distribución uniforme.*   * Reducción de saponinas: Mediante CRISPR-Cas9, se silenciaron genes de saponinas en variedades dulces, mejorando su aceptación comercial sin comprometer la resistencia     *Figura 16. Experimento 1: Configuración 3Z-N-I. Histogramas de*  *la frecuencia de tamaños, para la muestra final en la simulación.*  *Los histogramas se realizan con 40 cajas en el eje y*   1. **Discusión**   Implicaciones para la Agricultura Sostenible  La modificación de genes NHX ofrece una vía prometedora para expandir el cultivo de quinua a regiones afectadas por salinización (≈45% de tierras agrícolas globales) . Además, la combinación de resistencia genética y biofortificación (ej. aumento de lisina y metionina) podría convertirla en un cultivo clave para dietas en zonas áridas .[[4]](#Cuatro)  Limitaciones y [[1]](#footnote-1)Perspectivas Futuras | Aunque los avances son significativos, persisten desafíos:   * Aceptación regulatoria: Solo el 30% de países con cultivos transgénicos tienen marcos legales para edición genética . * Interacciones gen-ambiente: La sobreexpresión de NHX en condiciones no estresantes podría reducir el crecimiento en un 15%, requiriendo promotores inducibles  1. **Conclusiones**   La ingeniería de genes NHX en quinua mediante CRISPR y análisis multiómico ofrece soluciones concretas para la agricultura en condiciones climáticas extremas. Los avances reportados, validados en condiciones de campo en India y Corea del Sur, posicionan a este cultivo como pilar para la seguridad alimentaria del siglo XXI.  Como resultado de las simulaciones realizadas, puede considerarse que si se desarrolla una tecnología que permita una distribución uniforme del alimento, deberá estudiarse si los costos que implican la implementación de esta técnica de distribución del alimento, se compensan con el 16.41% de mejora simulada que se obtendría en la producción.[[6]](#Seis)  La combinación de algoritmos genéticos, lógica difusa y multi-agentes hizo posible que la presente investigación abarcara más allá de los objetivos establecidos inicialmente, no solo llegando a una comparación del prototipo de una  realidad simulada con los registros históricos, sino se llegó acomparar escenarios reales contra una posibilidad no estudiada en la realidad, por su alto grado de dificultad como lo es la distribución uniforme del alimento.  El camarón como entidad posee características tanto individuales como colectivas, esto convierte en un desafío lograr imitar su comportamiento.  La ingeniería de genes NHX en quinua mediante CRISPR y análisis multiómico ofrece soluciones concretas para la agricultura en condiciones climáticas extremas. |

1. **Referencias**
2. Morrison, K. (2025). *Mejora genética de la quinua en suelos salinos*. UNSA.
3. Kadam, U. et al. (2025). *Genes*, DOI: 10.3390/genes16010070.
4. "Top 10 Advancements in Quinoa Genetic Modification" (2025). *ESSFeed*.
5. Nature (2017). *Genoma de Chenopodium quinoa*.
6. Mundo Agropecuario (2025). *10 genes clave en resistencia al estrés*.
7. ChileBio (2022). *Híbridos de quinua para países en desarrollo*.
8. ANA, A. N. das A. (2016). Boletim de monitoramento dos reservatórios do rio São Francisco (Boletim No 11). Recuperado de http://arquivos.ana.gov.br/saladesituacao/BoletinsMensais/SaoFrancisco/Boletim\_Monitoramento\_Reservatorios\_SF\_2016\_10.pdf

1. Los genes NHX son atiportadores de sodio/hidrógeno [↑](#footnote-ref-1)