



# Bioseguridad y conservación de la biodiversidad del maíz (*Zea mays* L.) en Perú

## Biosecurity and biodiversity conservation for corn (*Zea mays* L) in Peru

Ricardo Víctor Felipe Arias Salcedo<sup>1\*</sup>; Gilberto Chávez Santa Cruz<sup>2</sup>; Tulio Medina Hinostroza<sup>3</sup>.

1 ONG Kuashat Pujut Asociación para la Conservación de la Naturaleza, Calle 28 de julio 136 Eten Puerto, Chiclayo, Perú.

2 Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Ciudad Universitaria, Lambayeque, Perú.

3 Dirección General de Diversidad Biológica, Ministerio del Ambiente, Lima, Perú.

\* Autor correspondiente: [rariassalcedo@gmail.com](mailto:rariassalcedo@gmail.com) (R. V. F. Arias Salcedo).

ORCID de los autores:

R. V. F. Arias Salcedo: <https://orcid.org/0000-0002-3635-0227>

G. Chávez Santa Cruz: <https://orcid.org/0000-0002-8165-4799>

T. Medina Hinostroza: <https://orcid.org/0009-0005-3872-3399>

### RESUMEN

Proteger biodiversidad nativa ante organismos vivos modificados OVM es imperativo; así, nuestro objetivo elaborar bases metodológicas para estudios de flujo de polen, cruzamiento y biología floral de maíz para Perú en 04 zonas productoras: Lambayeque, Huacho, Moquegua y Tarapoto. En la metodología para establecer el flujo de polen se emplearon trampas de polen y software Hysplit para distancias mayores determinando concentración por distancia; en cruzamiento, una parcela de maíz amarillo duro continua a maíz blanco para identificar xenia por distancia en el blanco. Resultados de biología floral, evidencian diferencias del inicio de la flor masculina como femenina: Tarapoto y Lambayeque de 60 a 70 días ambas flores; Huacho y Moquegua 65 a 75 días flor masculina, 75 a 85 femenina; la polinización, varía con igual relación con clara influencia climática. El flujo de polen y el viento se relacionan, Huacho o Lambayeque (costa) concentración intensa hasta 100 m de distancia y dispersión mayor 5000 m mientras Moquegua y Tarapoto menor y dispersión < 1000 m. El cruzamiento híbrido maíz blanco es intenso hasta 300 m con 100% de xenia. Por último, limitados conocimientos sobre OVM y cambio climático (< 20%) en todas las regiones incrementan los riesgos.

**Palabras clave:** Biología floral; flujo de polen; cruzamiento; polinización; riesgos de contaminación; xenia.

### ABSTRACT

Protecting native biodiversity from modified living organisms (GMOs) is imperative; thus, our objective is to develop methodological bases for studies of pollen flow, crossbreeding and floral biology of corn for Peru in 04 producing areas: Lambayeque, Huacho, Moquegua and Tarapoto. In the methodology to establish the pollen flow, pollen traps and Hysplit software were used for greater distances, determining concentration by distance; in crossing, a plot of hard yellow corn follows white corn to identify xenia by distance in the white. Floral biology results show differences in the onset of the male and female flowers: Tarapoto and Lambayeque 60 to 70 days for both flowers; Huacho and Moquegua 65 to 75 days for male flowers, 75 to 85 days for female flowers; pollination varies equally with clear climatic influence. Pollen flow and wind are related, Huacho or Lambayeque (coast) intense concentration up to 100 m away and greater dispersion 5000 m while Moquegua and Tarapoto less and dispersion < 1000 m. The hybrid crossing of white corn is intense up to 300 m with 100% xenia. Finally, limited knowledge about GMOs and climate change (<20%) in all regions increases the risks.

**Keywords:** Flower biology; contamination risks, flux pollen; pollinization; xenia.

Recibido: 29-11-2024.

Aceptado: 02-03-2025.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## INTRODUCCIÓN

Cabrera-Ponce et al. (2019) describen al maíz como una de las “primeras innovaciones de la humanidad” y su camino se inició hace 10,000 años en algún lugar de Centro América y desde esa fecha comenzó la selección y manipulación de esta planta hasta llegar hoy en día con producción de variedades, híbridos, transgénicos y una gran gama de razas y diversidad genética (García-Lara, Silverio et al. 2019). Con el tiempo, el incremento de la población requiere mayor cantidad y, por supuesto, calidad de los productos agrícolas y, en estas circunstancias, no se descarta el empleo de la biotecnología (Baqual et al. 2024).

Para Islas (2023) la aplicación de la tecnología OVM, encaja perfectamente en un principio base del Protocolo de Cartagena: el principio precautorio. Invocando a este principio ante el desarrollo y uso de dicha tecnología nos preguntamos ¿Se requiere proteger los recursos genéticos nativos en regiones donde se introducirán estos productos? En la región andina, tanto Perú como Ecuador, Colombia y Bolivia han generado razas de maíz nativo a través de milenios que deben ser protegidas y conservada su biodiversidad. Para Paarlberg et al. (2024), existe una preocupación inmediata por crear mayor espacio para que cultivos OVM avancen; pero, sabiendo que existen riesgos asociados. Ante los riesgos por daños ambientales que se pueden producir, Gómez (2021) afirma que en ciertas actividades económicas se debe evitar, mitigar o reparar daños ambientales por lo que deben ser reguladas; por ello, el Congreso de la República el año 2011 promulgó la ley N° 29811, Ley de moratoria a OVM ampliada mediante ley N° 31111 hasta el año 2035, leyes que regulan este tipo de tecnología otorgando al MINAM la responsabilidad de investigar y vigilar.

Esta investigación se realizó a requerimiento del Ministerio del Ambiente (MINAM) como parte de los estudios de línea base de la diversidad genética del maíz por ser Perú el centro de domesticación de maíz más importante luego de México (MINAM, 2018), estudios sin precedentes en el Perú y en el exterior muy pocos ante el desarrollo de Organismos vivos modificados (OVM)

Para Darrah et al. (2019) las estrategias utilizadas para generar nuevas variedades e híbridos son la selección en masa, las líneas auto fecundadas al azar, la selección recurrente y la hibridación de cruzamiento simple y cruzamiento simple modificado. Los granos de maíz pueden alterarse por medios genéticos. Zenner-de-Polania (2021), desde hace 20 años que se han otorgado licencias

para maíz bt en países de Sudamérica, despertando inquietudes por sus impactos. A pesar de existir algunas investigaciones, aún es muy escasa debido al débil financiamiento y la acción de los dueños de patentes de semillas híbridas transgénicas.

Para Wei et al. (2021), el flujo génico los OVM es preocupante por el riesgo ecológico que presentan. Este riesgo puede ser minimizado considerando las condiciones ambientales, aspectos culturales, de campo, biológicos y físicos.

El riesgo ecológico tiene relación con el flujo de polen y como se dispersa en caso sea un maíz transgénico. Existen diversos métodos para medir el flujo como el empleado por Souhar et al. (2020) denominado “mecanicista estocástico lagrangiano” para determinar dispersión (distancia) y deposición de polen (concentración) y obtener una tasa estimada de emisión de polen.

Para conocer el flujo a grandes distancias, Villaneuva et al. (2021) recomiendan el software HYSPLIT desarrollado por NOAA's Air Resources Lab (ARL) empleado a una variedad de aplicaciones como estimar la dispersión y trayectoria de polen. En España, las investigaciones ahora incluyen el empleo de maíz OVM con convencionales para probar que el cruzamiento no supere el umbral legal de 0,9% empleando barreras vivas (Vivess et al. 2024)

Existe, el EFSA Panel on Genetically Modified Organisms (GMO) (2024) grupo de expertos en OGM que evalúan los probables efectos sobre la salud humana, salud animal y el medio ambiente ante cualquier solicitud para liberar un OVM. Pero, como muchas de estas solicitudes de patente han caducado o están por caducar por ello, Jiménez et al. (2024) mencionan que se está abriendo el camino a cultivos OVM genéricos ósea sin patente como es el caso del maíz evento Fenaltec 22 que se ha lanzado comercialmente en Colombia

La nueva realidad requiere de estudios de riesgos ante un probable OVM con bases metodológicas y estándares ambientales. El objetivo de obtener la duración de la biología floral con énfasis en la polinización, el protocolo para el flujo de polen y el cruzamiento en maíz, estudios primarios claves en el análisis de riesgos para bioseguridad, categorizar riesgos de contaminación por OVM para cada región seleccionada: Lambayeque (Norte), Lima (Centro), Moquegua (Sur) y Tarapoto (Selva) e identificar la predominancia de riesgos por primera vez, replicable en países de Sudamérica con similar diversidad genética.

## METODOLOGÍA

El estudio tuvo tres etapas: gabinete inicial, trabajo de campo y trabajo de gabinete final.

**La primera etapa** fue muy corta y dedicada a la preparación del plan de trabajo, metodologías e instrumentos para la investigación en campo y luego su posterior procesamiento.

**La segunda etapa** incluye los estudios en campo.

### Metodología para los estudios en campo

Las variables biológicas fueron: duración de biología floral, concentración de polen y distancia del flujo de polen. Para ello se emplearon:

- Fichas de observación directa para concentración de polen.
- Trampas de polen (papel milimetrado plastifica-

do y platos plásticos) de 2 m de altura y distanciadas cada 10 m (Figura 1).

- Pegamento para las trampas de polen
- GPS marca Garmin y equipos informáticos personales.
- Softwares Hysplit y ArcGis v. 10.4.

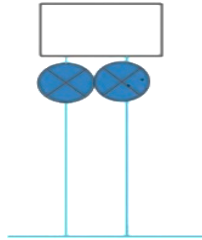


Figura 1. Modelo de trampa para polen.

**Metodología en campo para biología floral**

- Fichas de observación directa para biología floral, flujo de polen y cruzamiento
- Cámara fotográfica de alta resolución.

En cada parcela identificada por región se seleccionó 10 plantas al azar a las que se siguió su fenología hasta iniciar la biología floral, desde el día de inicio de la flor masculina y la femenina, polinización y caída de flores.

**Metodología en campo para flujo de polen**

El flujo de polen tiene como variables climatológicas preponderantes la velocidad y dirección del viento. En las mismas parcelas de las 4 regiones, se instalaron trampas de polen hasta 100 m del emisor en la disposición como se muestra en la Figura 2, debiéndose considerar la dirección predominante del viento.

El polen se atrapa durante un mes y se registra como concentración de polen mg / m<sup>3</sup> con las

siguientes categorías: muy alto (> 10 mg / m<sup>3</sup>), alto (1 - 10 mg / m<sup>3</sup>), medio (0,5 - 1 mg / m<sup>3</sup>) y bajo (<0,5 mg / m<sup>3</sup>). Para distancias superiores a 100 m desde el emisor se utilizó el software Hysplit siguiendo el procedimiento de Robayo y Galindo 2014 en México.

Para Mazo Castaño & Rodríguez Susa (2021), el polen es una partícula que se evalúa con fines de salud humana pero poco como agente contaminante ante OVM y es muy importante como se dispersa y hasta donde es su recorrido y para maíz, el viento es vital para la dispersión del polen. Este, se categoriza como: ciclónico (> 50 km / h ó > 14 m / s), fuerte (30 - 50 km / h ó 8 - 14 m / s), moderado (10 - 30 km / h ó 3 - 8 m / s) y ligero (<10 km / h ó < 3 m / s) adaptando para Perú la escala anemométrica de Beaufort.

**Metodología para el cruzamiento (xenia) en campo**

Las variables de cruzamiento evaluadas fueron: distancia de contaminantes y porcentaje de cruzamiento y para ello se utilizaron parcelas continuas de:

- 1 Parcela de maíz amarillo duro (emisor o contaminante) / región
- 1 Parcela de maíz blanco nativo (receptor / contaminado) / región.

Una característica del maíz es su polinización cruzada facilitada por acción del viento (Ortiz et al., 2010); por lo tanto, para dilucidar el riesgo de contaminación se identifica la distancia del contaminante y el grado de cruce entre la variedad nativa y el posible OVM. Utilizando como agente emisor la parcela de maíz híbrido seleccionada para los estudios previos y como agente receptor una parcela cercana con maíz blanco nativo representativo de cada región.

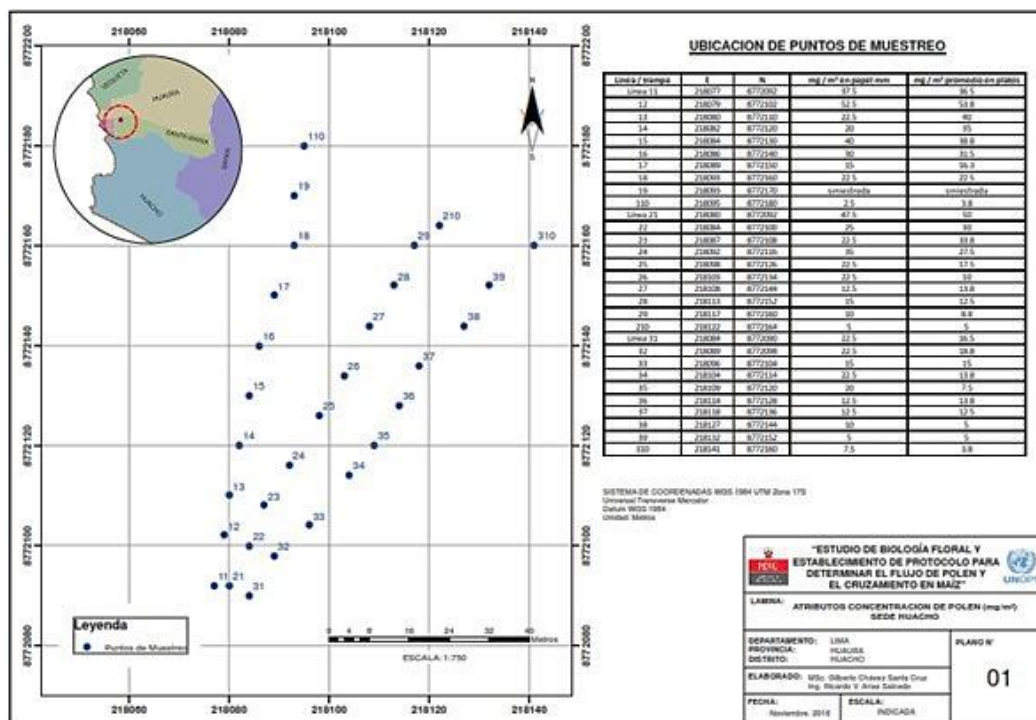


Figura 2. Mapa temático de trampas de captura de polen, Huacho (Lima), Perú

La distancia del contaminante se categoriza como: muy cerca (0 - 100 m), cerca (100 - 500 m), algo cerca (500 - 1000 m), lejos (> 1000 m). El cruzamiento, se registra en la mazorca madura del maíz blanco: relación granos contaminados / total de granos por mazorca; a este fenómeno, se denomina Xenia (Santacruz et al., 2020) y de acuerdo con Yang et al. (2020) es muy importante para el aumento del rendimiento y otros atributos que mejoran la calidad de los frutos. Sus categorías pueden ser: muy contaminado (> 50% de Xenia), moderado (10 - 50% de Xenia), ligeramente contaminado (0,1 - 10% de Xenia), sin contaminación (0% de Xenia). Vivess et al. (2024) han utilizado una metodología similar pero esta vez empleando OVM de maíz MON810 con maíz convencional y barreras de polen como medida preventiva en

Los riesgos de contaminación por cruza se relacionan con la distancia así: riesgo alto (distancia del emisor 0 - 100 m), riesgo medio (distancia del emisor 100 - 500 m), riesgo bajo (distancia del emisor 500 - 1000 m), sin riesgo (distancia del emisor > 1000 m) de acuerdo con Robayo & Galindo (2014).

### **Tercera etapa: Gabinete final**

En esta etapa se realizaron dos actividades paralelas: microscopia de polen y procesamiento de información de campo

### **Metodología para microscopia de polen en laboratorio**

Para la microscopia se empleó un Microscopio binocular marca ZEISS (2), Modelo PRIMO STAR. Además, un Micrométrico completo, Balanza electrónica analítica (Marca NAPCO, Modelo ESJ200-4).

Se siguió la metodología de Pardey Rodríguez (2020) en el conteo de granos de polen de maíz para evaluar su viabilidad. Se utilizó una escala 100x para determinar la concentración de polen tomando 4 puntos de 1 cm<sup>2</sup> al azar por trampa, registrando el promedio de los 4 puntos obteniendo el número de polen por trampa en cm<sup>3</sup>; que se multiplica por el peso del grano de polen del maíz (0,25 microgramos) (Robayo & Galindo, 2014). Con los resultados se preparan mapas temáticos de concentración de polen en ArcGis para cada región.

### **Metodología para variables socioculturales**

Las variables socioculturales principales evalua-

das fueron: prácticas agrícolas, conocimiento de organismos vivos modificados y cambio climático. El conocimiento de los agricultores es muy importante, López Dávila et al. (2020) enfatizan el concepto de experiencia del agricultor como un "sujeto móvil" que rota por diferentes cultivos, territorios y lógicas de funcionamiento de los mercados donde participa.

El MINAM aprobó la aplicación de encuestas (ver encuesta en el Anexo) a los agricultores de las cuatro regiones (n = 50 por región), entrevista a expertos (n = 12 a nivel nacional) y grupos focales en las agencias agrarias regionales (n = 4). Para el estudio, el conocimiento de los productores sobre OVM o sobre cambio climático se categorizó como: alto (conocimientos técnicos > 50%), medio (conocimiento empírico 20 - 50%) y bajo (sin conocimientos <20%).

### **Metodología para el análisis de riesgos ante OVM**

Para Baudrot et al. (2021), los riesgos por autorizaciones de OVM puede provocar una serie de daños al medio ambiente para lo que el análisis de riesgos es una medida de protección preventiva ante las amenazas del daño. En este sentido, el análisis contempla los siguientes pasos utilizados en la investigación:

Primer paso: estudios de biología floral, flujo de polen y cruzamiento, creación de base de datos, análisis espacial y mapas temáticos para variables duración de biología floral y polinización concentración de polen y distancia; porcentaje de contaminación y distancia

Segundo paso: interrelación de variables: concentración de polen vs distancia: cruzamiento vs distancia (del emisor de polen contaminante) y cruzamiento vs conocimiento de OVM por parte de los agricultores, con apoyo de análisis espacial para creación de mapas temáticos por interrelación

Tercer paso: categorización de resultados y determinación de los estándares de flujo de polen, cruzamiento, biología floral y riesgos de contaminación

Cuarto paso: Definición de estándares de riesgo: estándar de riesgo 1: Interrelación flujo del polen vs velocidad y dirección del viento; estándar de riesgo 2: Interrelación cruzamiento vs distancia y el estándar de riesgo 3: Interrelación cruzamiento vs conocimiento de OVM.

La interrelación de los 03 estándares determina el estándar total de riesgos ante OVM.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Biología floral y flujo de polen**

Los resultados forman parte de la línea base de la diversidad genética del maíz comenzando por las condiciones ambientales que identifican a cada región, altura sobre el nivel del mar, temperaturas y días de polinización (Tabla A1 del anexo).

Las temperaturas observadas durante el periodo de investigación se relacionan directamente con la biología floral: a > temperatura media, menor

tiempo de duración del cultivo, periodo de polinización y biología floral (Tabla 1).

La biología floral es la etapa más importante para todo cultivo. De acuerdo con Bazo et al. (2018) la biología floral es clave en el mejoramiento de los cultivos, pero desconocida para evaluar el riesgo de contaminación por OVM. Se debe conocer tanto la biología floral del emisor (agente contaminan) como de los receptores o probables contaminados.



**Tabla 1**

Condiciones de la biología floral medidas durante el tiempo de prueba

Localidad	Días de floración masculina	Días de floración Femenina	Días de polinización (Tiempo de captura de polen)	Variedades de maíz (variedades de pruebas)
Moquegua	75	85	30	Tropical "Marginal"
Huacho	65	75	25	Híbrido Dekalb
Lambayeque	60	70	20	Sintético "Chusca"
Tarapoto	60	70	15	Híbrido Dekalb

Los resultados son inéditos para maíz, en las sedes de investigación Lambayeque y Tarapoto (ecuatoriales) la duración de floración masculina fue similar 5 a 7 días, desde las primeras flores superiores hasta las últimas flores inferiores de la panoja y duración en la parcela hasta 13 días; la floración femenina de 15 a 16 días, siendo máxima en la primera semana. En cambio, en Huacho y Moquegua subtropicales, la duración de la floración es mayor en 5 días Huacho y 10 días Moquegua. El clima, influye notablemente en la biología floral del maíz con diferencia hasta 15 días entre las regiones tropicales y subtropicales una data importante para diseñar las medidas de protección.

**Fflujo de polen y del viento**

Mazo Castaño & Rodríguez Susa (2021) afirman que la dispersión del polen tiene relación directa con el viento, mayor intensidad del viento mayor concentración de polen y dispersión. Los vientos se representan en m/s y su intensidad se relaciona con la cercanía al océano por la influencia de los vientos alisios o marinos. Así, las medias para Huacho con 5,20 m/s y Lambayeque con 5,81 m/s regiones costeras en categoría de viento moderado a diferencia Moquegua y Tarapoto con 2 m/s y 3 m/s respectivamente categorizado como ligero. Determinando el estándar general de viento 0 - 8 m/s en la categoría de ligero a moderado. Por ello, Lambayeque (costa marina noroeste) y Huacho (costa marina central) presentan las mayores concentraciones (Tabla 3 y Tabla A2 del Anexo).

**Tabla 3**

Perú, categorización de la concentración de polen mg\*m<sup>3</sup>

Muy alto	Alto	Medio	Bajo
> 10 mg*m <sup>3</sup>	[1 - 10] mg*m <sup>3</sup>	[0,5 - 1] mg*m <sup>3</sup>	< 0,5 mg*m <sup>3</sup>

Nota: Diseño de escala en base a Robayo & Galindo (2014).

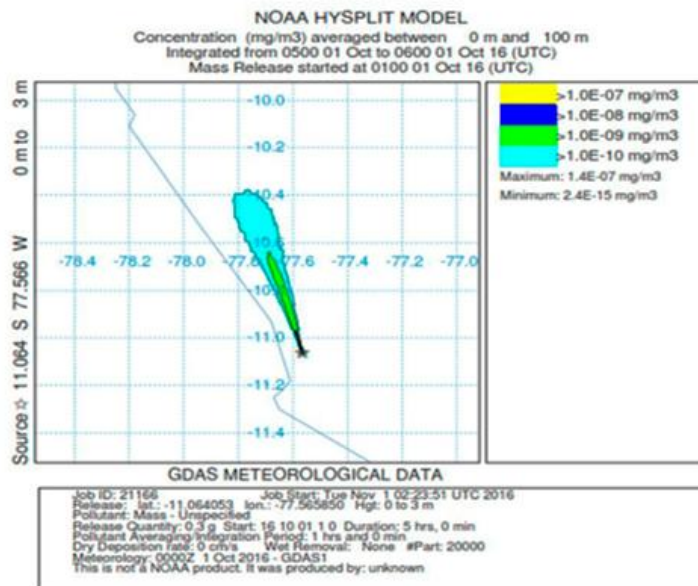
En México, Robayo & Galindo (2014) empleando el software Hysplit mostraron una tendencia de las dispersiones en direcciones sur-este y sur-oeste, con distancias de dispersión de hasta 20 km desde el punto emisor con la mayor concentración de polen correspondiente a 1,0 e-13 mg\*m<sup>3</sup>, probando que el polen de maíz puede recorrer distancias mayores a 300 y 500 m asumidos como medidas de bioseguridad, determinando tres categorías de concentración:

Alto: > 1 mg\*m<sup>3</sup>

Medio: [0,5 - 1] mg\*m<sup>3</sup>

Bajo: < 0,5 mg\*m<sup>3</sup>

Mazo Castaño & Rodríguez Susa (2021) en Colombia con Hysplit encontraron distancias de recorrido de hasta de 799 m y 10<sup>-9</sup> mg/m<sup>3</sup> atribuyendo el limitado recorrido a la humedad atmosférica generada por el fenómeno El Niño 2016. En Perú, en las cuatro regiones se obtuvo datos altamente significativos con clara influencia climática y ecológica, evidenciando diferencias entre cada región. Con las medias del viento obtenidas, se empleó el software Hysplit para determinar concentraciones a distancias mayores. En los mapas temáticos de flujo de polen (Figura 3, Figura 4, Figura 5 y Figura 6).



**Figura 3.** Mapa temático de dispersión del polen de maíz en la sede experimental de Huacho (Lima, Perú).

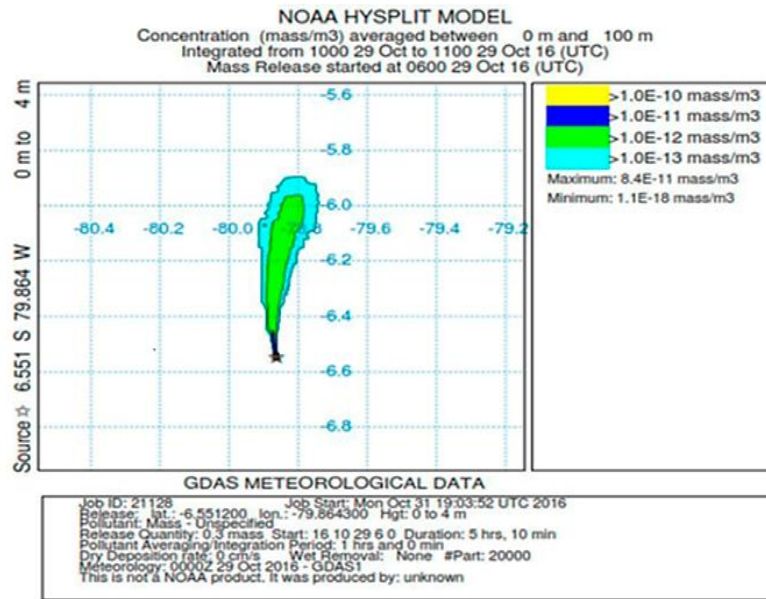


Figura 4. Mapa temático de dispersión del polen de maíz en la sede experimental de Lambayeque, Perú.

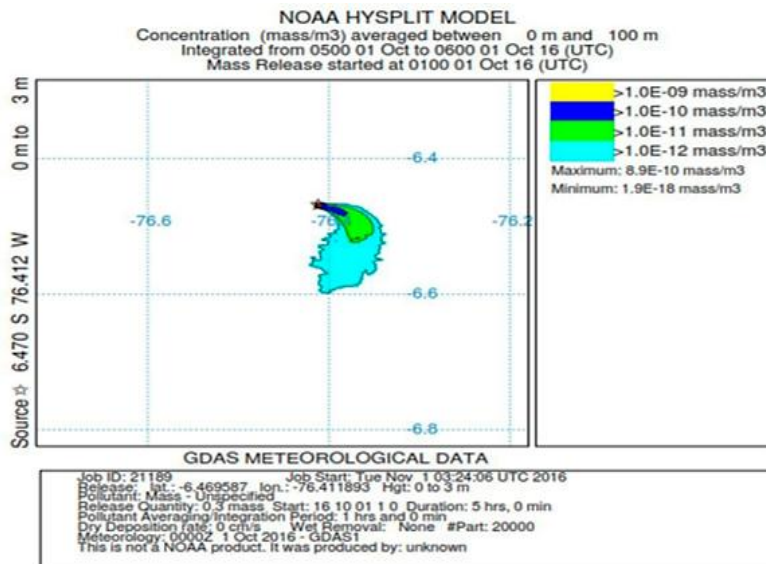


Figura 5. Mapa temático de dispersión del polen de maíz en la sede experimental de Tarapoto (San Martín, Perú)

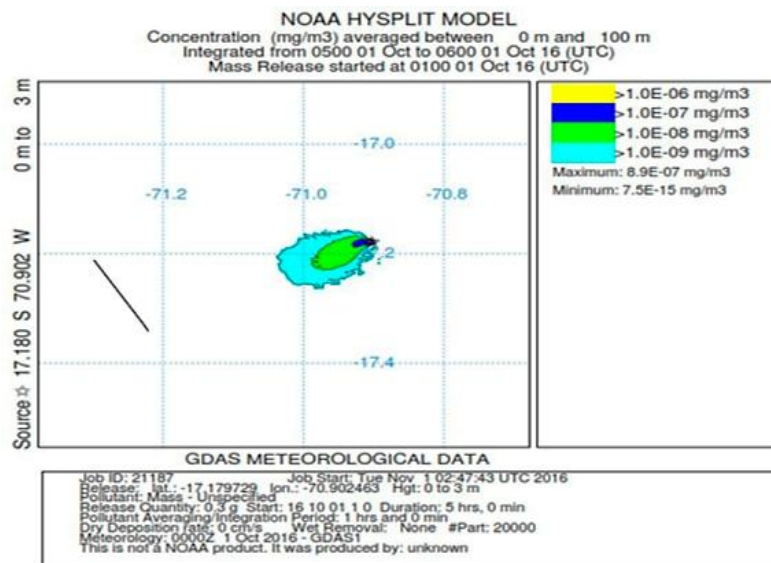


Figura 6. Mapa temático de dispersión del polen de maíz en la sede experimental de Moquegua, Perú.

Las figuras 3 y 4 evidencian un flujo de polen intenso con dirección norte – noreste principalmente y distancias de recorrido > 5 km propios de costa marina. Mientras Tarapoto y Moquegua (figura 5 y 6) sin la influencia marina vientos con menor intensidad, dirección sur – sur oeste y distancias < 2 km de dispersión. La mayor concentración de polen se da en zonas cercanas al mar (> 10 mg/m<sup>3</sup>) (Figura 7a Huacho) una categoría adicional a las 3 determinadas en México (Tabla 3). En la figura 7b, concentración media de polen para Moquegua.

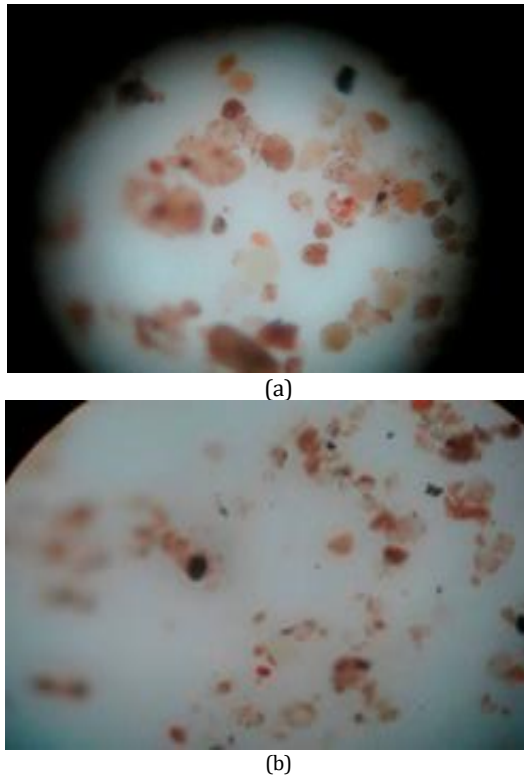


Figura 7. Registro fotográfico, microscopia de polen concentración de polen, microscopia 400 x, sede experimental (a) Huacho (Lima) (b) Moquegua.

Los resultados del HYSPLIT evidencian que el polen puede desplazarse más de 5 km principalmente en la costa mientras que en Selva y Sierra no supera los 2 km. La tendencia del desplazamiento en costa concuerda con los vientos alisios del sur; mientras que, en Selva y Sierra Sur – es Sur oeste con relación a los vientos de origen amazónicos y la circulación de los vientos en el trópico (Olcina, 2017).

**Estudio de cruzamiento**

El cruzamiento se utiliza en el mejoramiento genético no en la contaminación por cruce. La gran variabilidad genética del maíz en Perú, 52 grupos raciales que incluye el maíz morado (Medina et al., 2020) requiere de este tipo de estudios. La costumbre en Latinoamérica de sembrar variedades continuas en una misma parcela genera cruce constante y riesgo latente.

Lohn et al. (2020) en Brasil y Sudáfrica la agricultura comercial emplea principalmente híbridos de maíz transgénicos que pueden traer problemas para los pequeños agricultores y sus procesos de selección de su maíz nativo al igual que en México donde el maíz nativo mexicano se encuentra contaminado por transgenes, algo que puede ocurrir en Perú.

Los genes trans provienen de los híbridos para maíz amarillo duro de naturaleza industrial principalmente con polinización cruzada, pero Goodman et al. (2020) evidencian que no todo maíz se poliniza libremente como el caso del maíz palomero en México.

Para el nivel de contaminación (xenía) y distanciamiento se definieron cuatro categorías del estándar de cruzamiento (EC) y estándar mínimo de distancia (EMD) donde es posible la siembra de híbridos Tabla A3 del Anexo.

Así como en los mapas temáticos de cruzamiento por ejemplo en las Figura 8 y Figura 9 las regiones ecuatoriales (Tarapoto y Lambayeque) presentan los mayores niveles de contaminación (cruzamiento) cercanos al 100% en distancias superiores a 200 m del contaminante, mientras que Huacho y Moquegua son ligeramente menores (figura 10 y 11)

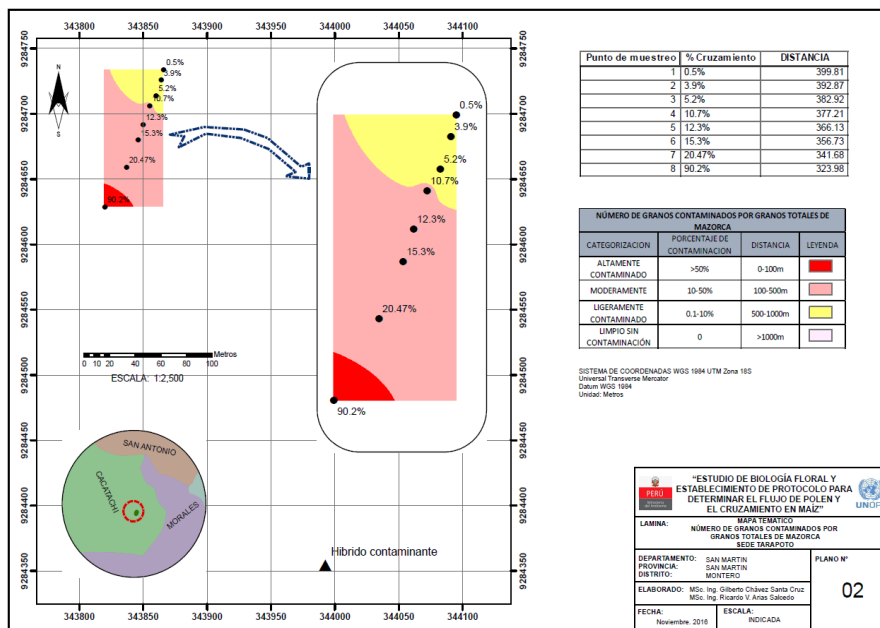


Figura 8. Mapa temático de cruzamiento en la sede experimental de Huacho (Lima, Perú).

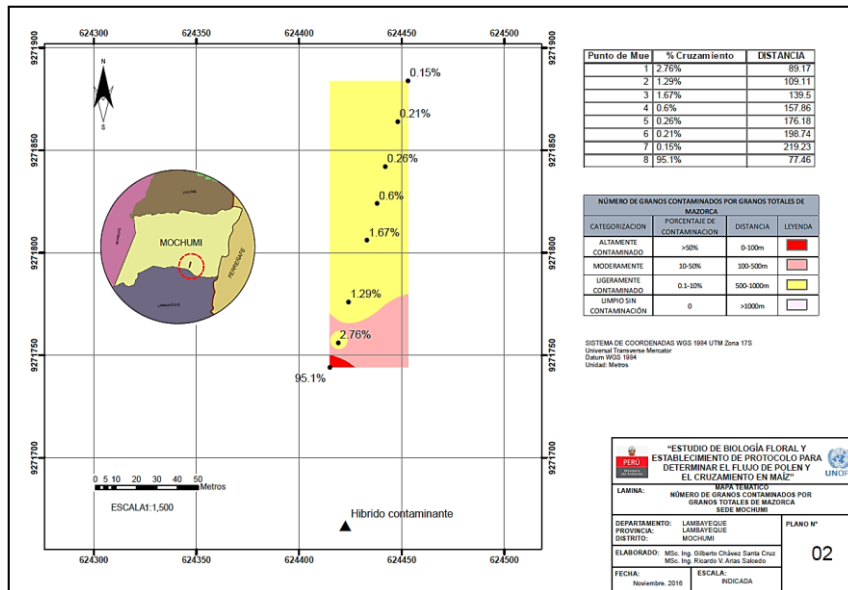


Figura 9. Mapa temático de cruzamiento en la sede experimental de Mochumi (Lambayeque, Perú).

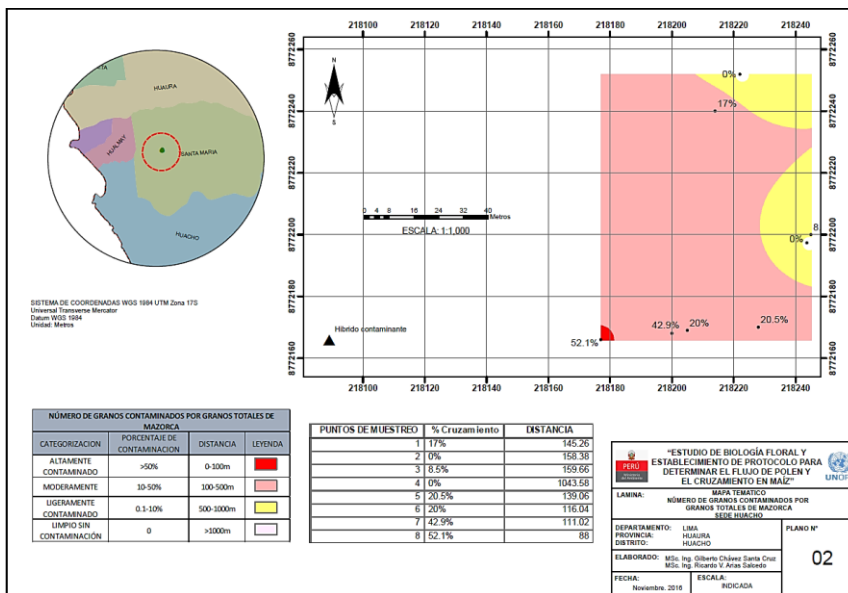


Figura 10. Mapa temático de cruzamiento en la sede experimental de Moquegua, Perú.

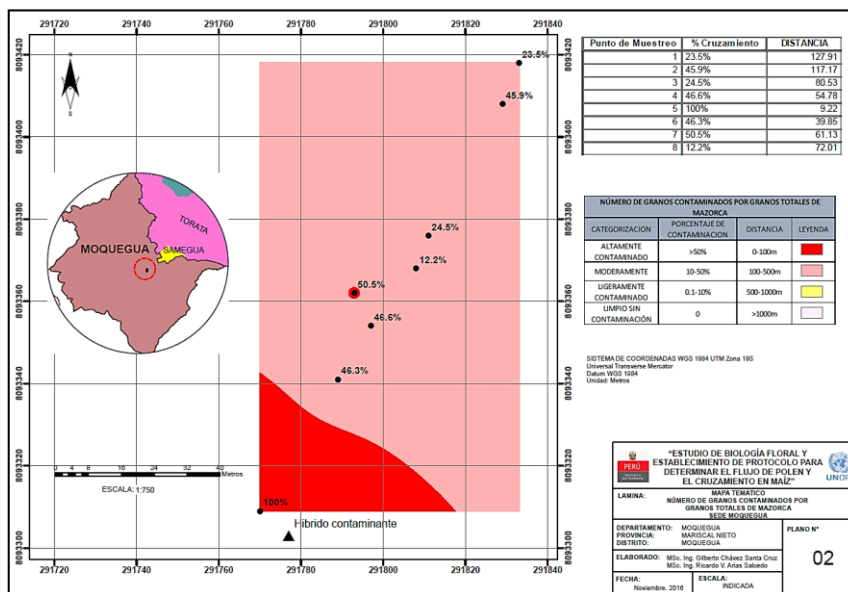


Figura 11. Mapa temático de cruzamiento en la sede experimental de Tarapoto (San Martín, Perú).



Las cuatro regiones del Perú presentan muy alto porcentaje de contaminación que puede llegar al 100 % de grano a distancias muy cercanas (< 10 m) entre el híbrido (emisor de polen) y la raza nativa (receptor de polen). Incluso a distancias mayores de 300 m alto porcentaje de contaminación de granos. Por la práctica agrícola de sembrar diferentes variedades colindantes, se espera cruces continuos con elevados riesgos de contaminación, siendo necesario medidas de prevención imaginativas ante la posibilidad de liberar OVM

### Conocimiento de los agricultores

Los agricultores, responden a singularidades propias de las condiciones ambientales y ecológicas y a sus prácticas agrícolas. En Moquegua, siembran maíz blanco en mayor escala respecto de Huacho, Lambayeque y Tarapoto, donde los híbridos son prioridad. Al consultarles sobre OVM los resultados se categorizaron en: conocimiento medio, 22% (Huacho), bajo, 18% (Moquegua), bajo 16% (Tarapoto), muy bajo, 0% (Lambayeque), y el conocimiento sobre cambio climático se categorizó en: Huacho (24%, medio bajo), Moquegua (28%, medio bajo), Tarapoto (46%, medio) y Lambayeque (44%, medio) (Tabla 6 y Tabla 7) evidenciando mejores conocimientos sobre cambio climático.

**Tabla 6**

Categorización de estándares socio culturales: conocimientos sobre OVM

Región / Localidad	Conocimiento sobre OVM %	Categoría del Estándar
Huacho	22	Medio
Moquegua	18	Bajo
Tarapoto	16	Bajo
Lambayeque-Mochumi	0	Bajo
Estándar de conocimientos del agricultor sobre OVM (ECPO)	0% a 22% de conocimiento según región	Bajo a muy bajo

Existen diferencias significativas entre sedes de investigación debido a condiciones climáticas y ecológicas, en Lambayeque y Tarapoto la duración de la floración es similar: flor masculina 13 días y femenina de 15 a 16 días, mientras Huacho y Moquegua, la floración se amplía: cinco días Huacho y 10 días Moquegua.

En cuatro categorías de concentración de polen, Huacho con muy alta concentración a distancia de 100 m desde el emisor, Moquegua, Lambayeque y Tarapoto muy alta concentración a 30 m del emisor.

En cuatro categorías de cruzamiento, Huacho y Moquegua con indicadores altos y moderados, seguida de Tarapoto y Lambayeque con indicadores altos, moderado y ligeros

Los agricultores de las 4 regiones siembran la misma especie (*Zea mays*) pero responden a singularidades de condiciones climáticas y

**Tabla 7**

Categorización de estándares socio culturales: conocimientos sobre Cambio climático

Sedes	Conocimiento sobre Cambio climático %	Categoría del Estándar
Huacho	24	Medio Bajo
Moquegua	28	Medio Bajo
Tarapoto	46	Medio
Lambayeque-Mochumi	44	Medio
Estándar de conocimientos en cambio climático (ECCC)	20% a 46% de conocimiento según región	Medio bajo

### Análisis de riesgos para maíz ante liberación de OVM

Este análisis involucra tres tipos de interrelaciones a partir de los resultados de la biología floral, flujo de polen, cruzamiento y conocimiento de los productores. La primera, determina el estándar de riesgo 1 producto de la interrelación flujo del polen vs velocidad y dirección del viento (Tabla A4 del Anexo). Las regiones costeras de Lambayeque y Huacho con riesgo muy alto, las otras dos regiones como alto. El estándar de riesgo 2, producto de la interrelación cruzamiento vs distancia (Tabla A5 del Anexo). Tres de cuatro regiones con riesgos muy altos de contaminación y solo la región de Tarapoto riesgo alto. Estándar de riesgo 3, producto de la interrelación cruzamiento vs conocimiento de OVM donde el cruzamiento tiene como factor, la práctica de siembra continua de variedades de maíz. Así, tres de cuatro regiones con riesgos muy altos en contaminación debido al bajo conocimiento en OVM, solo la región de Huacho (costa central) riesgo alto por mejor conocimiento en OVM (Tabla A6 del Anexo).

Al interrelacionar los tres tipos de estándares resultantes del análisis de riesgos se obtiene el estándar total de bioseguridad para el maíz en Perú (Tabla A7 del Anexo) que sirve de ejemplo para los países maiceros.

## CONCLUSIONES

ecológicas en cada región con sus prácticas agrícolas. En Moquegua, maíz blanco es mayor respecto a Huacho, Lambayeque y Tarapoto donde el híbrido resulta más importante.

Sobre OVM, en tres categorías del conocimiento: categoría 1 alto: conocimiento técnico mayor a 50% de agricultores, no presente en alguna región; categoría 2 nivel medio: conocimiento empírico entre 20% a 50% de agricultores, presente en Huacho; categoría 3 nivel bajo: sin conocimiento, menos a 20% de agricultores, en todas las regiones.

El análisis de riesgos permite concluir que en las cuatro regiones evaluadas existen riesgos elevados de contaminación de nuestras razas nativas temiendo los mayores riesgos de pérdidas el maíz mocho (Lambayeque), el Huachano (Huacho) y maíz Torata (Moquegua).

Se requiere realizar estudios de biología floral y flujo de polen en épocas de mayor velocidad del viento y variabilidad climática como El Niño para cubrir los mayores riesgos en regiones aun no evaluadas.

Promover e incentivar estudios en Universidades, institutos y centros de investigación sobre

bioseguridad, conservación de la biodiversidad, análisis de riesgos ante OVM, de modelos de Xenia, medidas de protección, capacitación de agricultores y múltiples investigaciones requeridas de urgencia.

Por último, recomendamos actualizar el mapa de diversidad de razas de maíz.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores, responsables de la investigación agradecen al Ministerio del Ambiente del Perú por dar la oportunidad para realizar una investigación inédita y formar parte de la línea de base de la

diversidad genética del maíz. Así mismo agradecemos a UNOPS por su importante colaboración financiera para hacer posible este estudio muy útil para Perú.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baqal, M., Wani, S., & Farooq, S. (2024). Desarrollo sostenible de la agricultura mediante intervenciones biotecnológicas: un enfoque ideal. En: Sobti, RC (eds) El papel de la ciencia y la tecnología para un futuro sostenible. Springer, Singapur. [https://doi.org/10.1007/978-981-97-5177-8\\_13](https://doi.org/10.1007/978-981-97-5177-8_13)
- Baudrot, V., Walker, E., Lang, A., Stefanescu, C., Rey, J.-F., & Soubeyrand, A. M. (2021). When the average hides the risk of Bt-corn pollen on non-target Lepidoptera: Application to Aglais io in Catalonia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111215>
- Bazo, I., Espejo R., Palomino, C., Flores, M., Chang, M., López, C., & Mansilla, R. (2018). Estudios de biología floral, reproductiva y visitantes florales en el "loche" de Lambayeque. *Ecología Aplicada*, 17(2). <http://doi.org/10.21704/rea.v17i2.1239>
- Cabrera, J., Valencia, E., & Trejo, D. (2019). Chapter 3 - Genetic Modifications of Corn, *AACC International Press*, 43-85. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00003-6>
- Darrah, L., McMullen, M., & Zuber, M. (2019). Chapter 2 - Breeding, Genetics and Seed Corn Production. *AACC International Press*, 19-41. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00002-4>
- EFSA Panel on Genetically Modified Organisms (GMO)(2024). Assessment of genetically modified maize MON 95275 (application GMFF-2022-5890). *EFSA Journal* 22(8). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8887>
- García, S., & Serna, S. (2019). Chapter 1 -Corn History and Culture. *AACC International Press*, 1-18. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00001-2>
- Goodman, M., Jones, Z., Sanchez, G., & Kermicle, J. (2021). Maize cross incompatibility and the promiscuous Ga1-m allele. *Plant breeding reviews*, 44, 31-56. <https://doi.org/10.1002/9781119717003.ch2>
- Gómezc, H. (2021). ¿Toda actividad económica debe estar regulada? *Advocatus*, 41, 185-197. <https://doi.org/10.26439/advocatus2021.n041.5658>
- Islas, A. (2023). El control de organismos genéticamente modificados a partir de principios de derecho aplicados a la biotecnología. *Horizonte Sanitario* 22(1). <https://doi.org/10.19136/hs.a22n1.5436>
- Jiménez, P., Vargas, J., Mora, J., & Chaparro, A. (2024). First Latin American off-patent corn event - Fenaltec 22. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 24(2). <https://doi.org/10.1590/1984-70332024v24n2n21>
- Lohn, A., Trtikova, M., Chapela I., Van den Berg, J., du Plessis H, et al. (2020) Transgene behavior in *Zea mays* L. crosses across different genetic backgrounds: Segregation patterns, cry1Ab transgene expression, insecticidal protein concentration and bioactivity against insect pests. *Plos One* 15(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238523>
- López, E., Ramos, L., Houbraken, M., Du Laing, G., Romero, O., & Spanoghe, P. (2020). Conocimiento y uso práctico de plaguicidas en Cuba. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(1). [https://doi.org/10.21930/rcta.vol21\\_num1\\_art:1282](https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num1_art:1282)
- Mazo, C., & Rodríguez, M. (2021). Transgenic maize pollen dispersal model in the municipality of Tierralta (Córdoba, Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1). [https://doi.org/10.21930/rcta.vol22\\_num1\\_art:1637](https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1637)
- Medina, A., Narro, L., & Chávez, A. (2020). Cultivo de maíz morado (*Zea mays* L) en zona altoandina de Perú: Adaptación e identificación de cultivares de alto rendimiento y contenido de antocianina. *Scientia Agropecuaria* 11(3). <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.01>
- Ministerio del Ambiente (2018). *Línea de base de la diversidad genética del maíz peruano con fines de bioseguridad*. Dirección General de Diversidad Biológica. MINSa. Perú.
- Olcina, J. (2017) ¿Cómo circula el viento en los trópicos? Avances en la disciplina climática durante la edad moderna. *Anales de la Universidad de Alicante*, 35, 8-45. <http://doi.org/10.14198/RHM2017.35.01>
- Ortiz, E., Carballo, A., Muñoz, A., & González, V. (2010). Efecto de la dispersión de polen en la producción de semilla de maíz, en Texcoco, México. *Agronomía Mesoamericana*, 21(2), 289-297. <https://doi.org/10.15517/am.v21i2.4891>
- Paarlberg, R., Bhattacharya, A., Huang, J., Karembu, M., Pray, C., & Wesseler, J. (2024) Viewpoint: The uptake of new crop science: Explaining success, and failure. *Food Policy*, 122. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102572>
- Pardey, C., & Escobar, R. (2020). Evaluación de la germinación del polen de *Zea mays* a través de metodologías in vitro en Santa Marta, Colombia. *Intropica*, 15(2) 137-143. <https://doi.org/10.21676/23897864.3565>
- Robayo, A., & Galindo, M. (2014). Análisis de la probabilidad de dispersión de polen de maíz genéticamente modificado usando el modelo HYSPLIT. *Agrociencia*, 48(5), 511-523.
- Santacruz, A., Olán, M., Alegría, F., Ortega, R., López, H., & Sangerman, D. (2022). Efecto de xenia sobre las características de reventado en maíz Palomero. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 13(8). <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i8.3350>
- Souhar, O., Marceau, A., & Loubet, B. (2020). Modelling and inference of maize pollen emission rate with a Lagrangian dispersal model using Monte Carlo method. *The Journal of Agricultural Science*, 158(5), 383-395. <https://doi.org/10.1017/S0021859620000763>
- Villaneuva, S., Cleary, K., & Krupnick, A. (2021). The Societal Value of the HYSPLIT Air Dispersion Model. [https://media.rff.org/documents/Rpt\\_21-04\\_final.pdf](https://media.rff.org/documents/Rpt_21-04_final.pdf)
- Vivess, J., Corujo, M., Pla, M., & Galmés, J. (2024). Coexistence field trials between MON810 and conventional maize in Mallorca as a basis for a regional regulatory proposal based on scientific evidence in the times of genome editing. *Transgenic research*, 33(3), 119-130. <https://doi.org/10.1007/s11248-024-00384-y>
- Wei, W., Wang, J., Mi, X., Li, Y., & Zhu, Y. (2021). Modeling gene flow from genetically modified plants. In Gene flow: monitoring, modeling and mitigation *Wallingford UK: CABI*. (103-117). <https://doi.org/10.1079/9781789247480.0007>
- Yang, Q., Fu, Y., Liu, Y., Zhang, T., Peng, S., & Deng, J. (2020). Novel classification forms for xenia. *HortScience*, 55(7), 980-987. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14939-20>
- Zenner-de-Polánia, I. (2021). Transgenic Bt maize in South and Central America: the pros and cons. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 15(3). <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i3.12687>

## ANEXO

**Tabla A1**  
Condiciones climáticas y ecológicas medidas durante el tiempo de prueba

Localidad	Altura (m.s.n.m.)	Temperatura (°C)	Condición ambiental	Tiempo de polinización (Días)
Moquegua	1500	Mínima: 9 - 11 °C y Máxima: 28 - 29 °C	Condiciones desérticas con Humedad relativa < 50% y temperaturas máximas altas. Sin precipitación	30
Huacho	90	Mínima: 15 - 16 °C y Máxima: 19 - 21 °C	Humedad relativa > 75% escasa precipitación, viento moderado	25
Lambayeque	10	Mínima: 16 - 17 °C y Máxima: 26 - 28 °C	Viento moderado y seco durante las tardes sin precipitación durante el periodo de investigación	20
Tarapoto	250	Mínima: 19 - 21 °C y Máxima: 31 - 33 °C	Condiciones tropicales húmedas con eventuales precipitaciones ciclónicas durante la investigación	15

**Tabla A2**  
Estándar de concentración de polen

Localidad	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Huacho	Hasta 80 m distancia	Menor a 100 m distancia	No	No
Moquegua	Hasta 20 m distancia	Menor a 100 m distancia	No	No
Tarapoto	No	Menor a 100 m distancia	---	---
Lambayeque	Hasta 30 m en dirección del viento	Hasta 100 m a en dirección del viento y hasta 40 m otras direcciones	No	No
Estándar de concentración de polen por distancia(m)	20 - 80 m de distancia desde el contaminante de acuerdo a cada región	80 a menos de 500 m de distancia desde el contaminante de acuerdo a cada región	HYSPLIT rangos 500 - 1000 m	HYSPLIT rango > 1000 m
Estándar de concentración de polen (mg/m <sup>3</sup> )	>10mg	1 - 10 mg	0.5 - 1mg	< 0,5mg

**Tabla A3**  
Estándar para el cruzamiento de maíz

Localidad	Altamente contaminado	Moderado Contaminado	Ligeramente contaminado	No contaminado
Huacho	Hasta 80 m desde el contaminante	Hasta 150 m desde el contaminante	Hasta 170 m desde el contaminante	> 170 m desde el contaminante
Moquegua	Hasta 80 m desde el contaminante	Hasta 150 m desde el contaminante	No categorizado	No categorizado
Tarapoto	Hasta 320 m desde el contaminante	Hasta 380 m desde el contaminante	Hasta 400 m desde el contaminante	No categorizado
Lambayeque	Hasta 100 m desde el contaminante	Hasta 200 m desde el contaminante	No categorizado	No categorizado
Estándar mínimo de cruzamiento	50 - 100% de Cruzamiento	10 - 50% de Cruzamiento	1 - 10% de Cruzamiento	< 1% de Cruzamiento
Estándar Mínimo de distanciamiento	80 - 320 m desde el contaminante de acuerdo con cada región - Muy cercano	200 - 380 m desde el contaminante de acuerdo a cada región - Cercano	380 - 400 m desde el contaminante de acuerdo a cada región, Cercano	> 400m Desde el contaminante - algo lejano

**Tabla A4**  
Interrelación flujo del polen vs velocidad del viento:  
Estándar de riesgo 1

Localidad	Flujo de Polen	Viento	Flujo de Polen / Viento	Estándar de riesgo 1
Huacho	Muy alto, alto	Moderado	Muy alto / Moderado	Riesgo muy alto: Alta a concentración de polen y moderado viento
Moquegua	Muy alto, alto	Ligero	Muy alto / ligero	Alto riesgo: alta a concentración de polen, viento ligero
Tarapoto	Alto	Ligero	Alto / ligero	Riesgo moderado: Alta concentración de polen, viento ligero
Lambayeque	Muy alto, alto	Moderado	Muy alto / moderado	Muy alto riesgo: alta a concentración de polen, moderado viento

**Tabla A5**  
Interrelación cruzamiento vs Distancia: Estándar de riesgo 2

Localidad	Contaminación (%)	Distancia (m)	Estándar de riesgo 2
Huacho	Altamente contaminado	Cercano	Riesgo muy alto: < 500 m en la costa
Moquegua	Altamente contaminado	Cercano	Riesgo muy alto: > 500 m valle interandino
Tarapoto	Alto y ligeramente contaminado	Cercano	Riesgo alto; < 500 m en la amazonia
Lambayeque	Alto y ligeramente contaminado	Cercano	Riesgo muy alto: < 500 m en la costa

**Tabla A6**  
Interrelación cruzamiento vs conocimiento de OVM: estándar de riesgos 3

Sede	% de contaminación	Conocimiento sobre OVM	Categorización del estándar de riesgos 3
Huacho	Altamente contaminado	Medio	Riesgo alto: Alta contaminación y conocimiento medio sobre OVM
Moquegua	Altamente contaminado	Bajo	Riesgo muy alto: Alta contaminación y bajo conocimiento
Tarapoto	Alto y ligeramente contaminado	Bajo	Riesgo muy alto: Alta contaminación y bajo conocimiento
Lambayeque	Alto y ligeramente contaminado	Bajo	Riesgo muy Alto: Alta contaminación y bajo conocimiento

**Tabla A7**  
Estándar total de riesgos y bioseguridad (ETRBIO)

Localidad	Categorización del estándar de riesgos 1	Categorización del estándar de riesgos 2	Categorización del estándar de riesgos 3	Estándar total de riesgos y bioseguridad
Huacho	Riesgo muy alto: elevada concentración de polen y viento moderado por ser zona costera	Riesgo muy alto: para distancias menores a 500 m cercanas en la región costa	Riesgo alto: Alta contaminación y conocimiento medio sobre OVM	Riesgo muy alto: distancias menores a 500 m, flujo moderado a muy alta concentración de polen, maíz blanco de elevado cruzamiento y desconocimiento sobre OVM
Moquegua	Riesgo alto: elevada concentración de polen con viento ligero por ser valle interandino	Riesgo muy alto: para distancias menores a 500 m cercanas en el valle interandino	Riesgo muy alto: Alta contaminación y bajo conocimiento	Riesgo muy alto: distancias menores a 500 m, flujo moderado a muy alta concentración de polen, maíz blanco de elevado cruzamiento y desconocimiento sobre OVM
Tarapoto	Riesgo moderado: alta concentración de polen con viento ligero	Riesgo alto: para distancias menores a 500 m o cercanas en la amazonia	Riesgo muy alto: Alta contaminación y bajo conocimiento	Riesgo alto: distancias menores a 500 m, Flujo ligero a muy alta concentración de polen, maíz blanco de elevado cruzamiento y desconocimiento sobre OVM
Lambayeque	Riesgo muy Alto: elevada concentración de polen y viento moderado por ser zona costera	Riesgo muy Alto: para distancias menores a 500 m o cercanas en la región costa	Riesgo muy Alto: Alta contaminación y bajo conocimiento	Riesgo muy alto: distancias menores a 500 m, Flujo moderado a muy alta concentración de polen, maíz blanco de elevado cruzamiento y desconocimiento sobre OVM

**Estudio de biología floral y establecimiento de protocolo para determinar el flujo de polen y el cruzamiento en maíz**

**ENCUESTA A PRODUCTORES**

N° ..... Localidad: ..... Fecha: ..... Hora: .....

**I. Datos generales:**

- 1.1. Datos geográficos: ..... UTM, altura: ..... Msnm
- 1.2. Nombres y apellidos del productor: ..... Edad: .....
- 1.3. Nivel de estudios: primaria / secundaria / técnica / superior

**II. Aspectos biológicos**

- 2.1. Variedades que siembra: .....
- 2.2. Época de siembra: .....
- 2.3. La precipitación disminuye la polinización: si / no
- 2.4. Época de floración: a. Masculina: ..... b. Femenina: .....
- 2.5. A cuántos metros de la planta llegan los granos de polen: .....
- 2.6. ¿Cuántos días dura la floración masculina de la misma planta? ..... Y la femenina?: .....
- 2.7. ¿Dónde se ubican las flores masculinas y femeninas?: .....
- 2.8. ¿Siembra sus variedades de maíz de manera intercalada, en franjas o sola?: .....
- 2.9. ¿Conoce cultivos transgénicos? Si / no
- 2.10. ¿Son negativos?: Si / no
- 2.11. Siembra maíz amarillo duro: Si / no
- 2.12. Sembraría maíz transgénico: Si / no
- 2.13. Conoce del cruzamiento XENIA: Si / no
- 2.14. Gusta el cruce de maíz nativo híbridos: Si / no

**III. Aspectos ecológicos y climáticos**

- 3.1. Identifica la calidad de los vientos en su zona: ciclónicos / fuertes / moderados / ligeros
- 3.2. ¿Cuánto duran? En la mañana: ..... En la tarde: ..... Por la noche: .....
- 3.3. ¿Los vientos fuertes mataran el polen? Si / no
- 3.4. ¿Cree usted que el clima en su zona ha cambiado respecto a años anteriores? Si / no
- 3.5. ¿Cómo piensa que ha cambiado? .....

**IV. Aspectos socio culturales**

- 4.1. ¿Asocia su cultivo de maíz? Si / no
- 4.2. ¿Con que otro cultivo?: .....
- 4.3. ¿Conoce el significado de cambio climático?: .....
- 4.4. ¿Ha cambiado sus costumbres de siembra de acuerdo a al cambio del ambiente? Si / no
- 4.5. ¿En qué aspectos han cambiado? : .....
- 4.6. Háblenos de la adaptación al cambio climático, ¿Qué significa para usted? .....
- 4.7. ¿Utiliza algún tipo de tecnologías?
  - A. De última generación: .....
  - b. Tecnología de riego o mecanización: .....
  - C. Solo tradicionales: .....
- 4.8. ¿En su familia conocen de razas de maíz OVM? .....

Datos del encuestador: .....

Firma: .....