

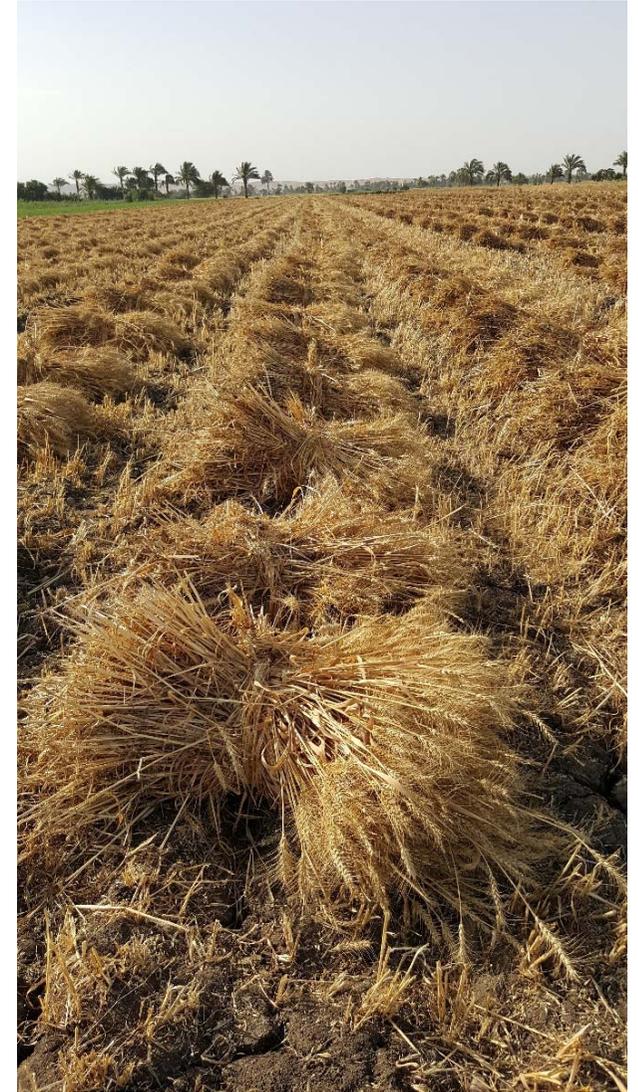
Progreso en la mejora genética del trigo en el CIMMYT

Ravi P. Singh

Programa Global de Trigo

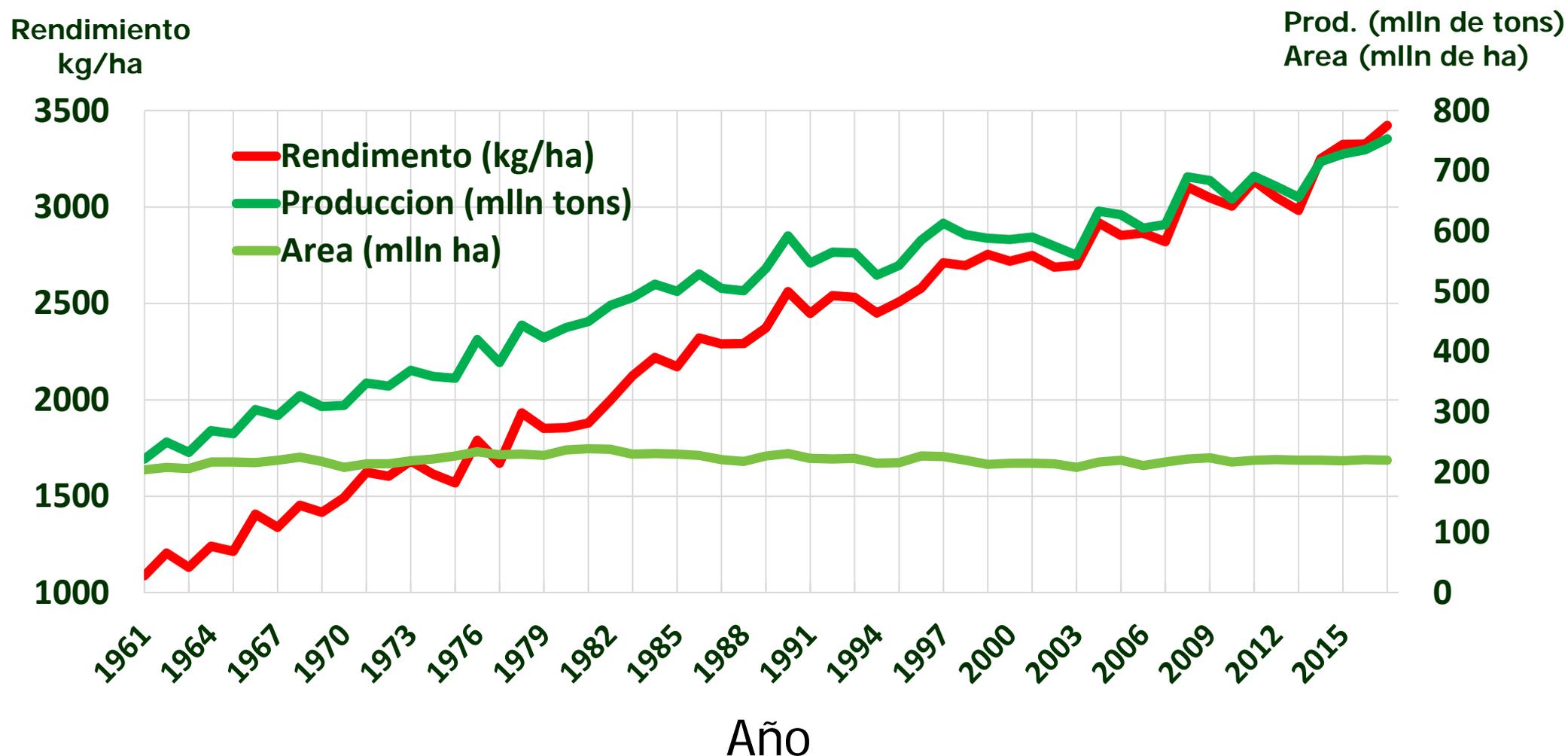
Importancia del trigo

- **Mundialmente el cultivo alimenticio mas importante**
- **2nd en los paises en desarrollo**
- **Alimento para 2.5 billones de pobres (< US\$2) en 89 paises**
- **Provee en promedio 20% de calorías**
- **La fuente de proteina mas importante (20%) en paises en desarrollo y paises desarrollados**



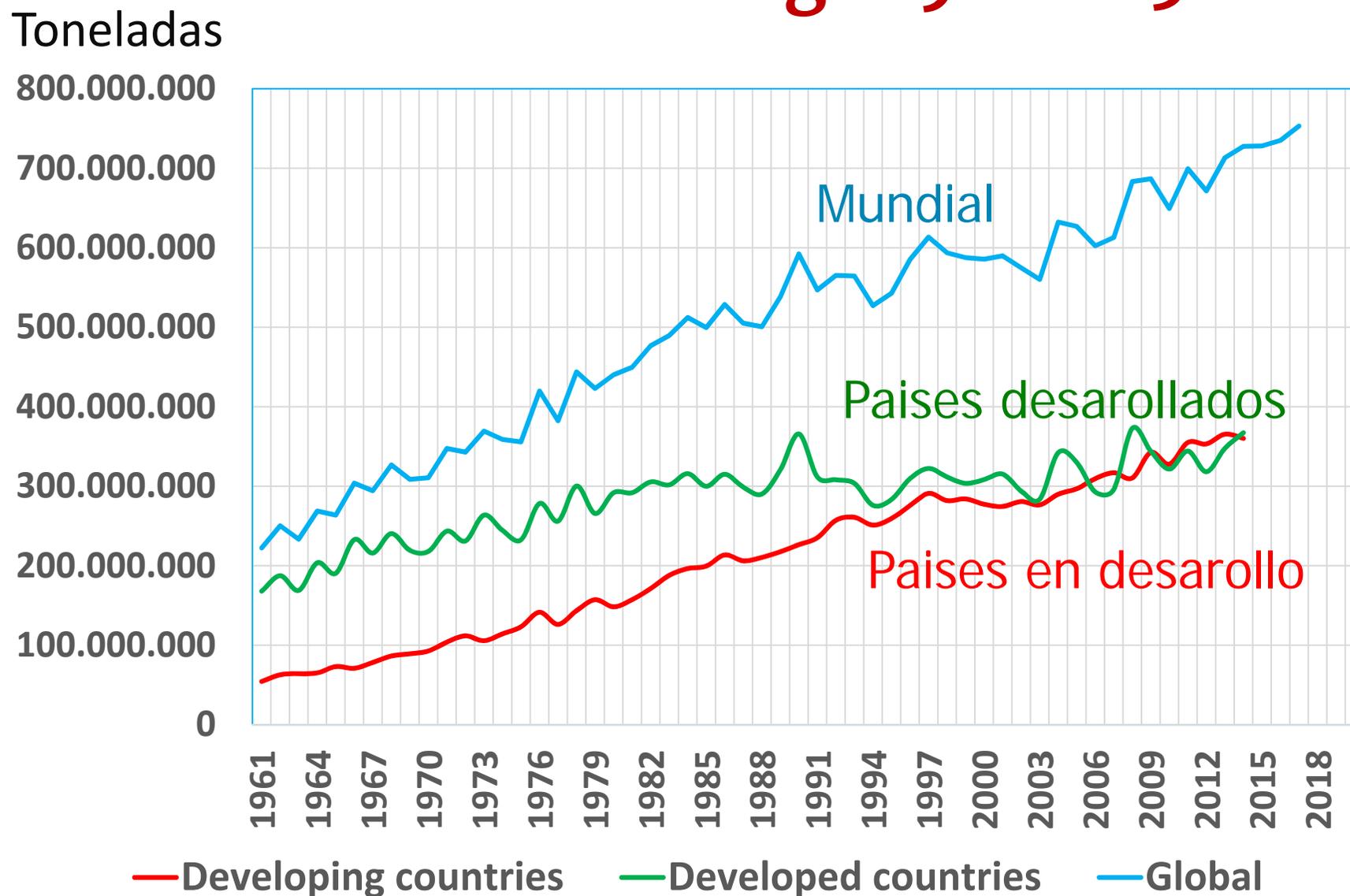
Source: H-J Braun

Producción mundial, area y rendimientos desde 1961



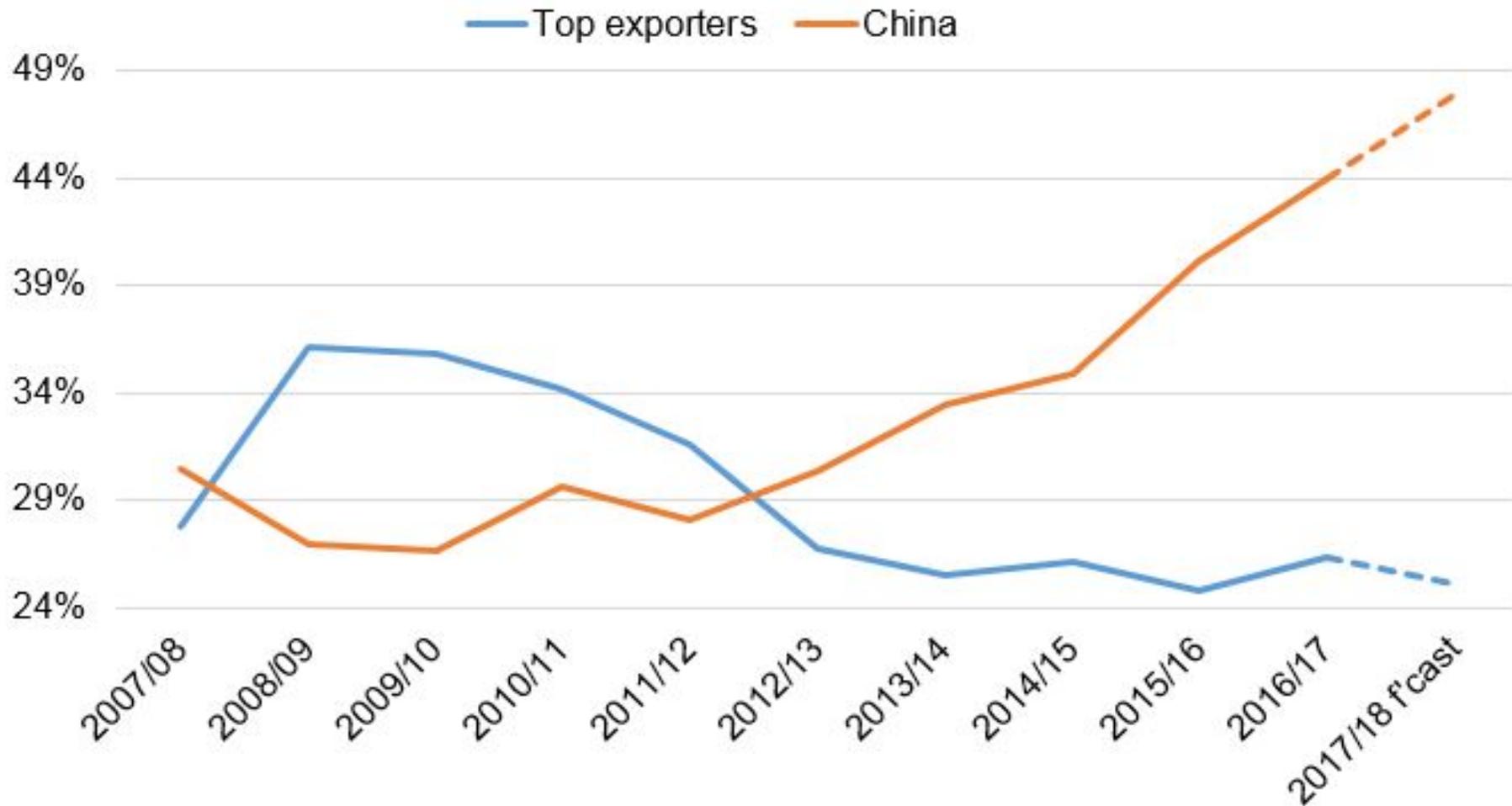
Fuente de datos: FAO-statistics, USDA,
Compuesto by H-J. Braun, CIMMYT

Producción de Trigo 1961-2015



Fuente de datos: FAO-statistics, USDA,
Compuesto by H-J. Braun, CIMMYT

Proporción de las reservas globales mantenidas por los países mas exportadores* y China



*Australia, Canada, EU, Russia, Ukraine, USA

Source: USDA

Adopted from: Rooney, D., F. Rusk & A.K. Purewal, 2018, Global wheat: The risk behind the records, AHDB, UK

Retos en la producción global del trigo

- 1.6% de incremento en la producción mundial anualmente; p. ejm. rendimiento promedio debe de aumentar de 3.3 t/ha a 5 t/ha para el 2050
- Escenarios del cambio climático: temperaturas más calientes e impredecibles, estrés por sequía & precipitación alta y fuera de tiempo
- Escases de agua subterránea para riego
- Incremento del costo de la energía y los fertilizantes
- Competencia con otros cultivos
- Emergencia de plagas y enfermedades y nuevos biotipos
- Declinación de la capacidad de investigación agrícola



Foto: Jalal Kamali,
14 April 16. Dezful, Khuzestan
province, Iran

Red Mundial de Mejoramiento de Trigo: *se requiere de una fuerte colaboracion*

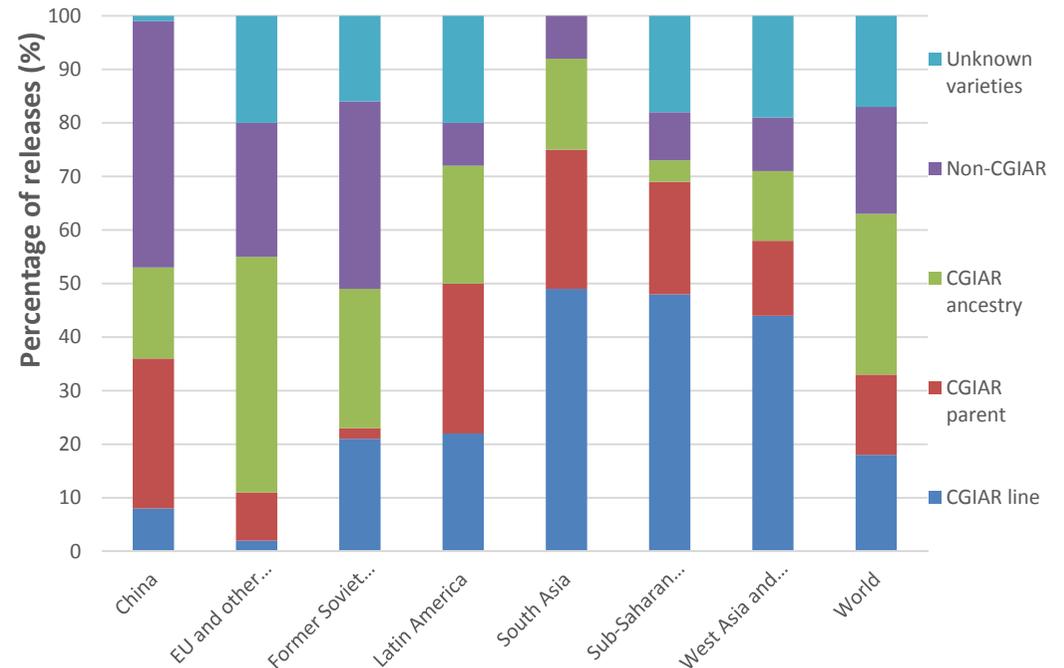
- Agricultores
- Programas Nacionales de Agricultura
- Servicios de extension publica y privada
- Sistemas Nacionales de semillas y productores de semillas
- Institutos avanzados de investigacion y sector privado
- Redes de coordinacion
- Donadores de CGIAR
- CIMMYT e ICARDA

Programa de Mejoramiento del Trigo Blando en CIMMYT México

Area objetivo: 60 m ha

- Riego optimo (Mega-ambiente 1):
30 m ha
- Ambiente lluvioso (Mega-ambiente 2):
5 m ha
- Ambiente Semiárido (Mega-ambiente 4):
15 m ha
- Riego con Calor (Mega-ambiente 5):
10 m ha

Trigos de primavera liberados por región y origen 1994-2014
(Fuente: Lantican et al. 2016)



Casi la mitad de las variedades liberadas en el Sur de Asia, Sub-Saharan Africa, Asia Occidental y North Africa son derivadas directas del CGIAR; y >30% tienen por lo menos un progenitor producto del CGIAR.

Prioridades del programa de trigo blando

Caracteres principales

- Alto y estable potencial de rendimiento
- Resistencia durable a royas- del tallo (Ug99), estriada y de la hoja
- Uso eficiente del agua/Tolerancia a sequía
- Tolerancia al calor
- Calidad industrial apropiada
- Mayor contenido de Zn y Fe para mejorar nutrición (South Asia)

Enfermedades clave en mega-ambientes específicos

- Resistencia durable a plagas y enfermedades
 - ◆ Septoriosis (ME2)
 - ◆ Mancha café (ME5)
 - ◆ Mancha bronceada (ME4)
 - ◆ Fusarium – fusariosis de la espiga y micotoxinas (ME2/4/5)
 - ◆ Carbón parcial (ME1)
 - ◆ Pudriciones de raíz y nematodos (ME4)
- **Tizon (blast) -nueva amenaza en Asia del Sur (ME5)**
- **Aphidos communes- en incremento (ME1/4/5)**

Conjuntar caracteres múltiples es esencial bajo el escenario del cambio climático para beneficio de los productores de trigo

Crusas específicas y mejoramiento alternado en selección de segregantes en el campo

México (Cd. Obregón-Toluca/El Batán)- Kenya Mejoramiento Alternado Internacional

Un ciclo de mejoramiento recurrente de cinco-años



Pruebas de rendimiento de líneas avanzadas Cd. Obregón, México (2017-18)

- 1^{er} Año ensayos riego completo (9044 líneas + Testigos):
 - ▶ Camas-5 riegos
- 2^{do} Año ensayos elite (1092 entries + Testigos):
 - ▶ Plano - 5 riegos por goteo
 - ▶ Camas - 5 riegos
 - ▶ Camas -2 riegos
 - ▶ Plano - Sequia con alto esters (riego por goteo)
 - ▶ Camas – Siembra temprana (30 dias)-
 - ▶ Camas - Siembra tardía (90 dias)

Fenotipado para tolerancia a sequía
Riego por goteo



Fenotipado para tolerancia
a calor: Siembra tardía



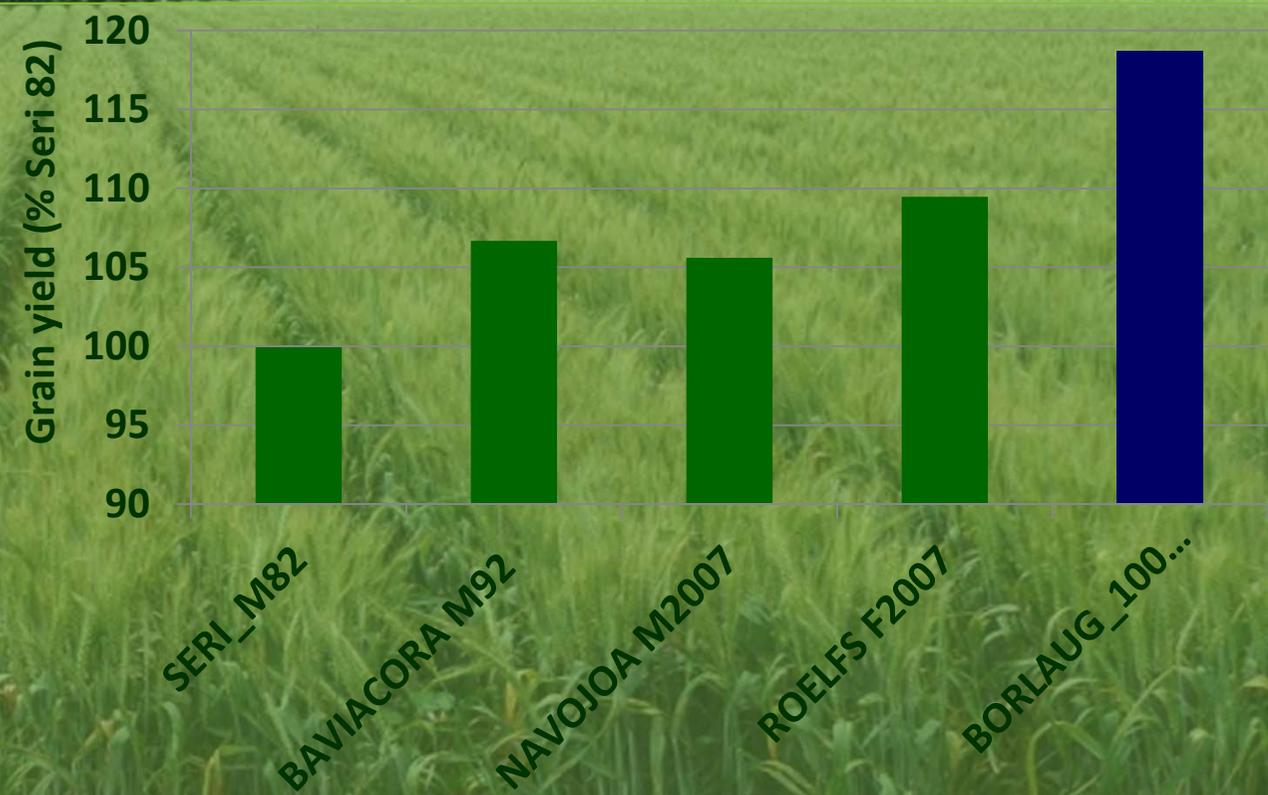
Fenotipado para alto potencial
Siembra en plano



Fenotipado para alto potencial
Siembra en camas elevada



Comportamiento del rendimiento promedio de grano de variedades recientes bajo condiciones de riego óptimo y libre de enfermedades durante los ciclos 2012-13 y 2013-14 en Cd. Obregón, México

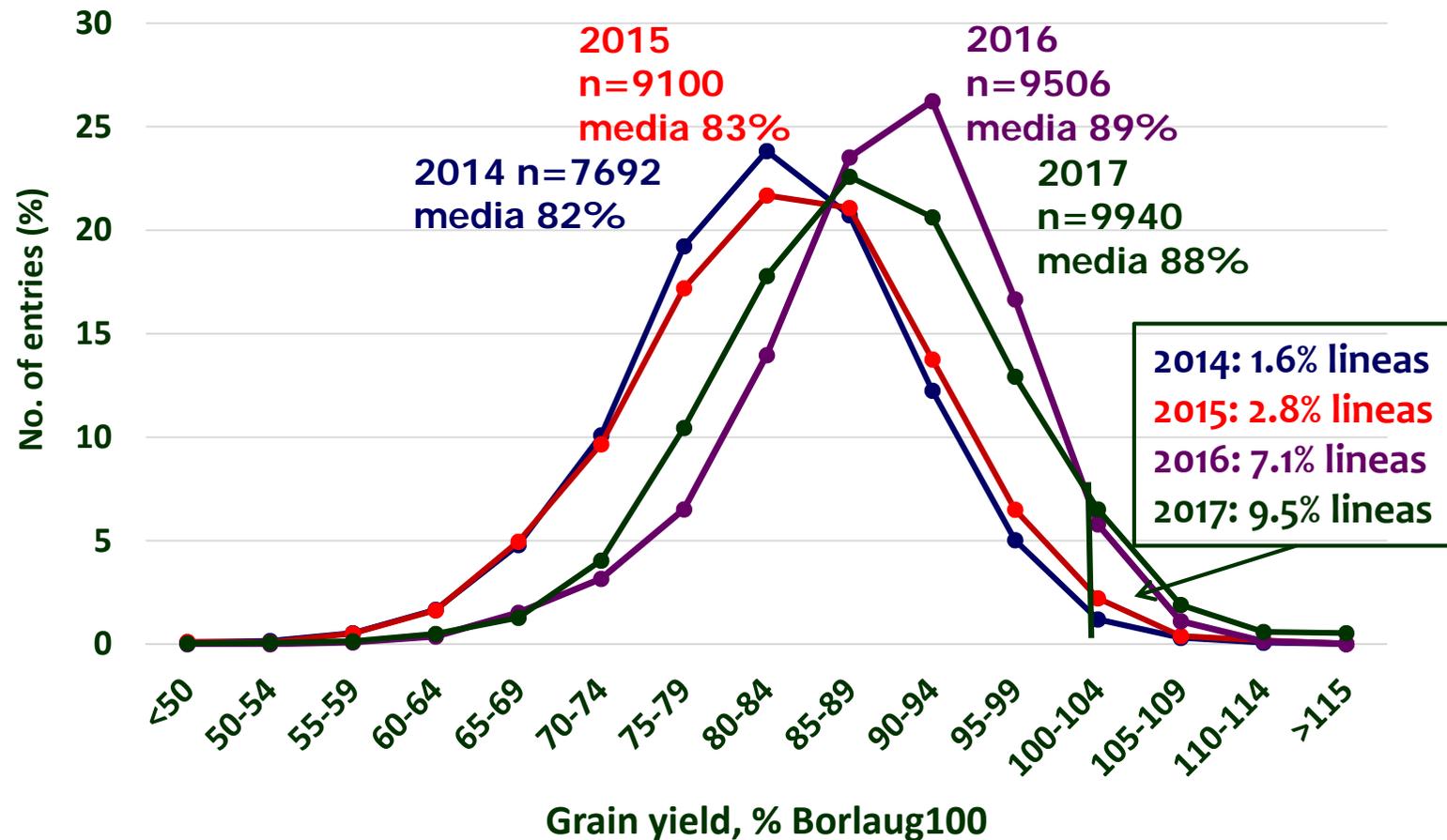


**Variedad de trigo harinero Borlaug 100 liberada en 2014:
9% de rendimiento más que Roelfs liberada en 2007**

Incremento del rendimiento de grano:

Distribución del rendimiento de líneas de trigo blando en ensayos de 1^{er} año (2 reps) en Cd. Obregón durante ultimos 4 ciclos bajo riego óptimo

- Realmente cuantitativo- muchos genes menores
- Ganancia genetica ~1% por año continua
- Gran diversidad dentro de los materiales mejorados
- 2016 & 2017: Varias de las líneas nuevas que mostraron rendimiento superior con frecuencia son derivadas de Borlaug 100

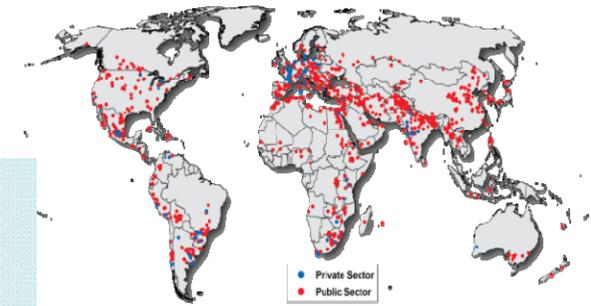


Selección de líneas para distribución Internacional

- **Alto potencial de rendimiento con ciertos rangos de madurez (precoz, intermedia y tardía) en ambientes de riego óptimo**
- **Alto rendimiento y peso de grano como criterio de selección bajo estrés de sequía y calor**
- **Resistencia a royas y otras enfermedades**
- **Características adecuadas de calidad industrial**

Distribución Mundial de Germoplasma de Alto Rendimiento en Ensayos Internacionales

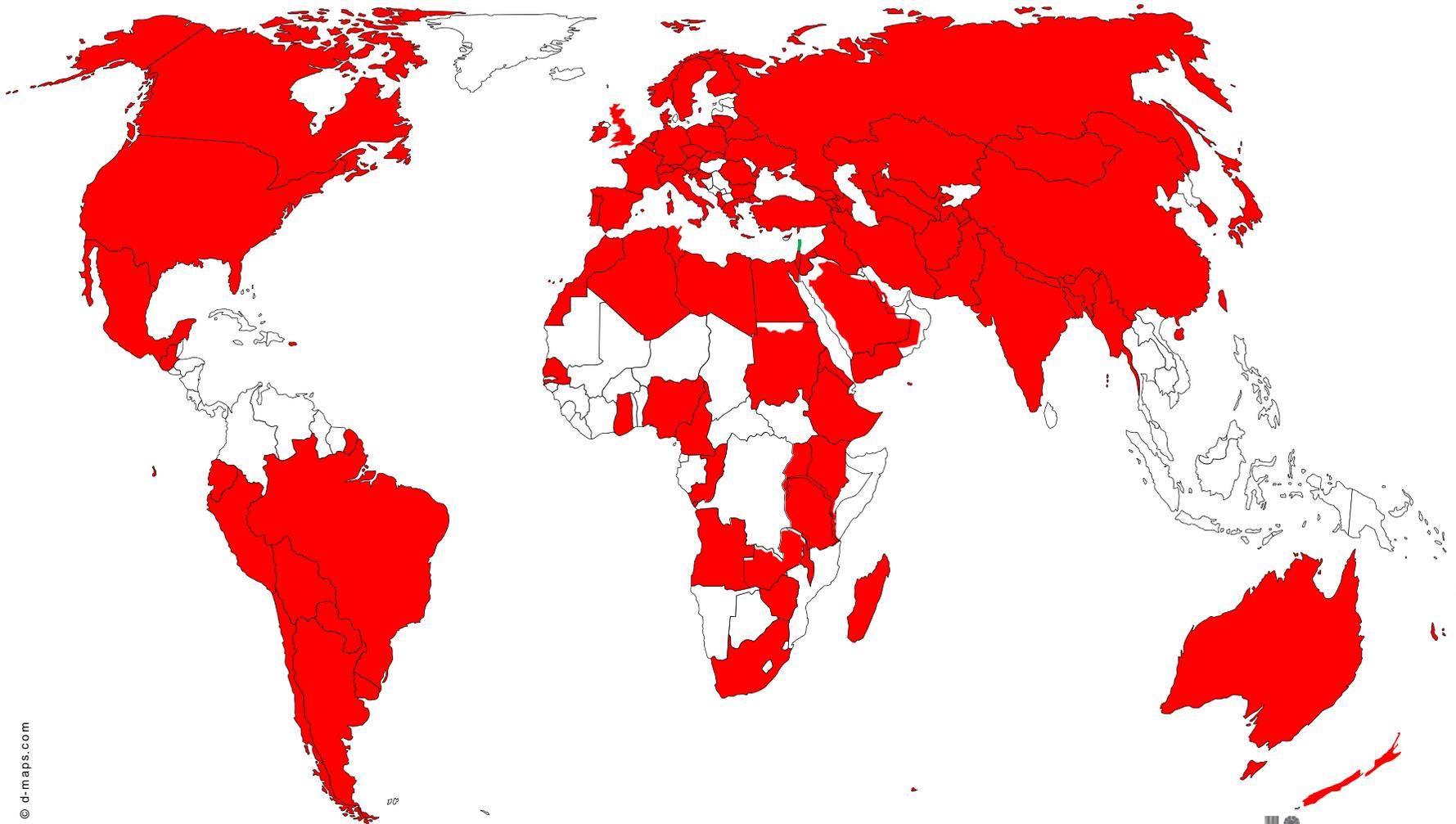
50-150 juegos de cada Ensayo/Vivero distribuidos anualmente
30% de incremento en la demanda durante la última década



Ensayo/Vivero	Siglas	Entradas (No.)	Ambiente del enfoque	Color del grano
Ensayos de Rendimientos (2 repeticiones):				
Ensayo de Rendimiento de Líneas Elite	ESWYT	50	ME1, ME2, ME5	Blanco
Ensayo de Rendimiento para Zonas Semi-Aridas	SAWYT	50	ME4	Blanco
Ensayo de Rend. para zonas de Alta precipitación	HRWYT	50	ME2, ME4	Rojo
Ensayo de Rendimiento para temperaturas altas	HTWYT	50	ME1, ME4, ME5	Blanco
Ensayo de Rendimiento de líneas con elevado nivel de Zn	HPYT	50	ME1	Blanco
Viveros de Observación:				
Vivero de seleccion internacional de trigo harinero	IBWSN	250-300	ME1, ME2, ME5	Blanco
Vivero de seleccion de trigo para zonas aridas	SAWSN	150-200	ME4	Blanco
Vivero de seleccion de trigo para precipitacion alta	HRWSN	150-200	ME2, ME4	Rojo
Vivero de seleccion de micronutrientes (Fe and Zn)	HPAN	100-150	ME1	
Viveros con resistencia a enfermedades:				
Vivero internacional de Septoria	ISEPTON	100-150	ME2, ME4	Blanco/Rojo
Vivero de seleccion para resistencia al tizon foliar	LBRSN	100-150	ME4, ME5	Blanco/Rojo
Vivero de resistencia a roya del tallo	SRRSN	100-150	All MEs	Blanco/Rojo
Vivero de resistencia a Fusarium	FHBSN	50-100	ME2, ME4	Blanco/Rojo
Vivero de resistencia a Carbón Parcial	KBRSN	50-100	ME1	Blanco/Rojo

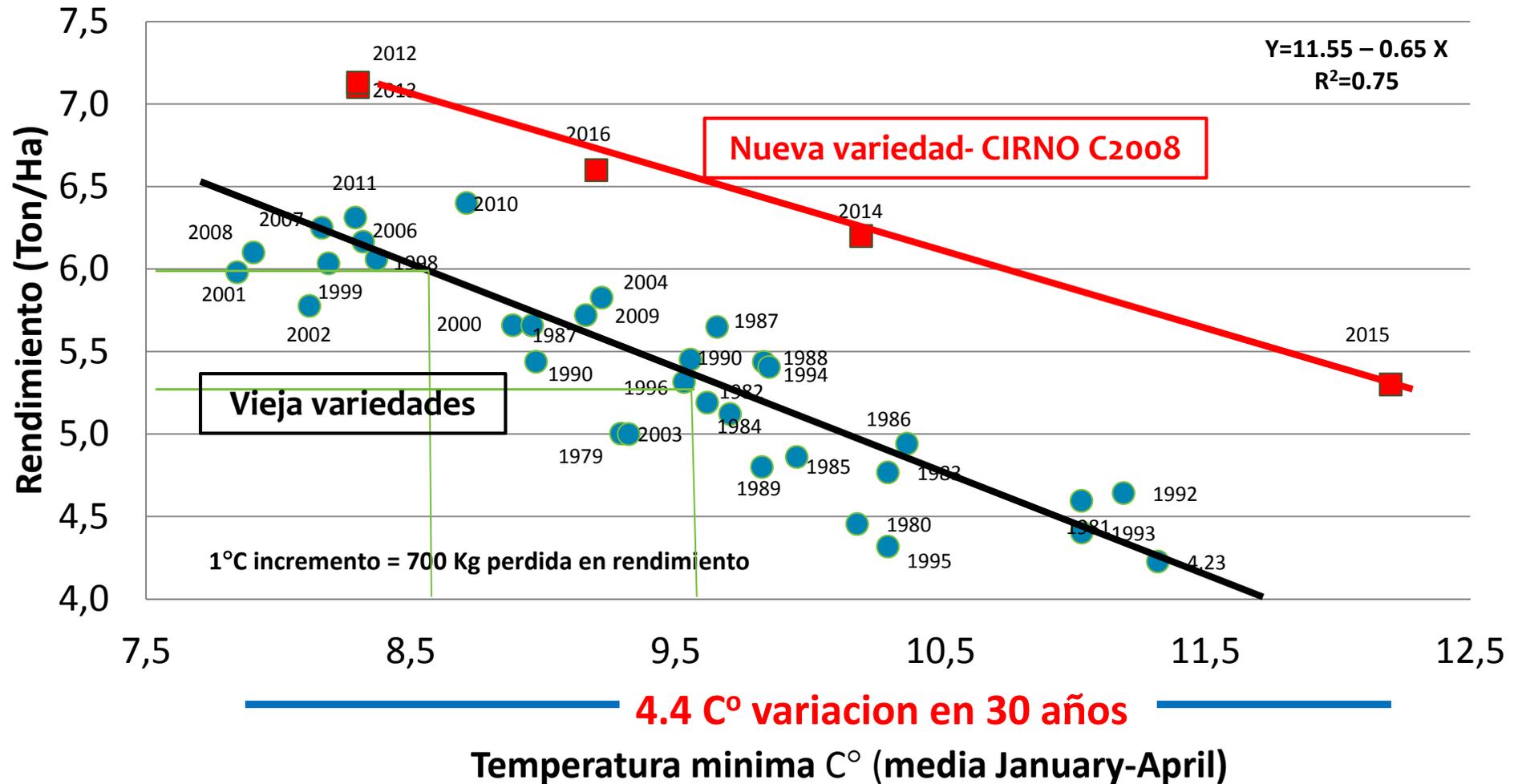
En 2017, 104 países recibieron viveros de trigos primaverales del CIMMYT e ICARDA y viveros de invierno de Turquía/CIMMYT/ICARDA

85 países recibieron ensayos y viveros de trigo blando desde CIMMYT, México



© d-maps.com

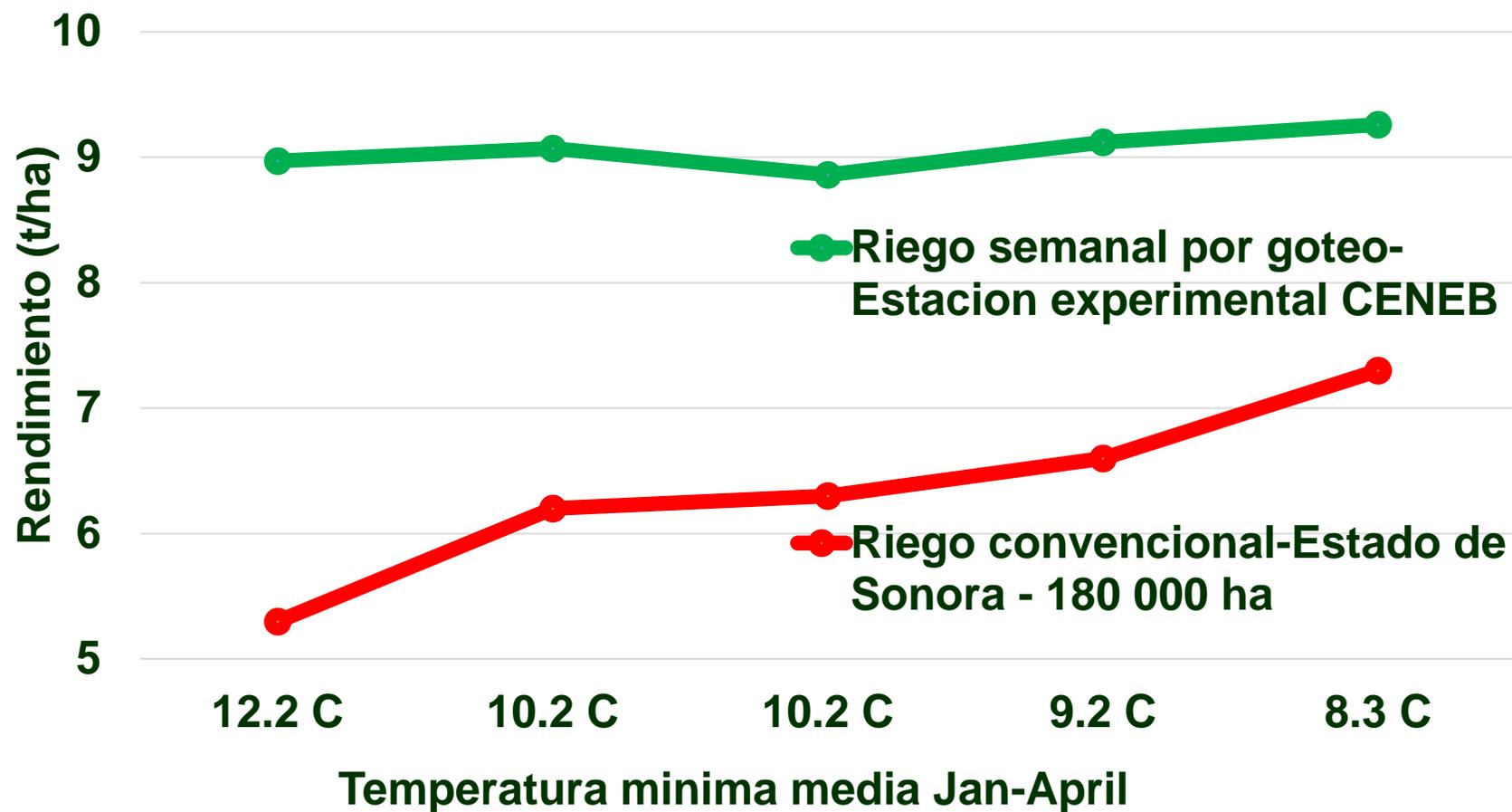
El impacto de la temperatura mínima en rendimiento de trigo Valle del Yaqui, Sonora, Mexico



Source: H.-J. Braun and I. Ortiz-Monasterio, CIMMYT

USO EFICIENTE DEL AGUA (contexto de GxAxM)

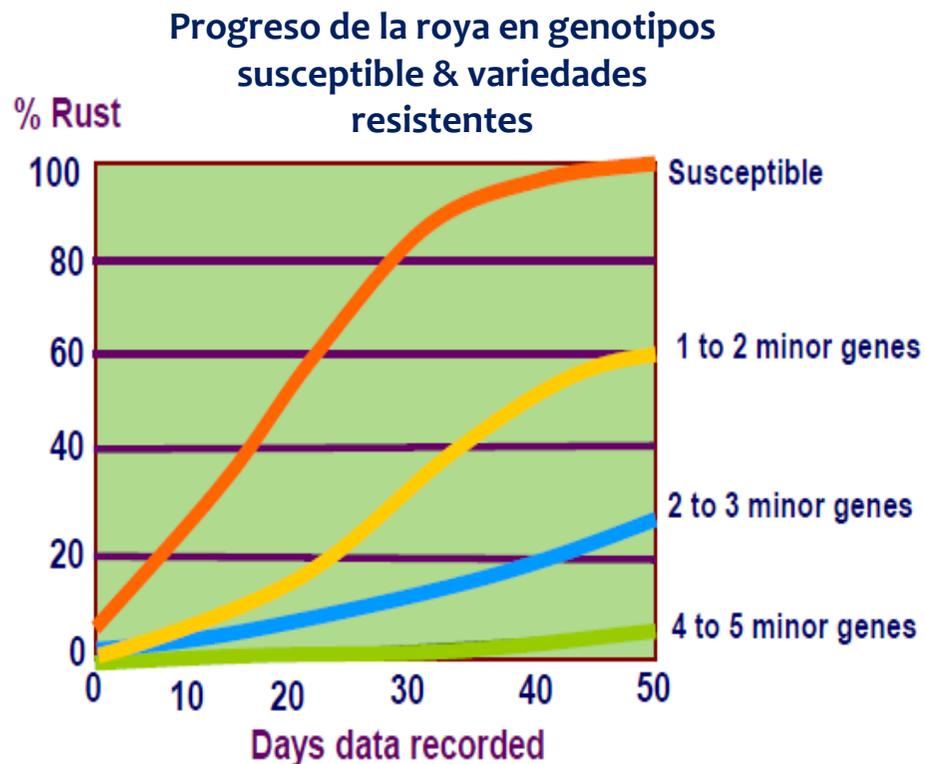
Rendimiento de CIRNO C2008 en campos de agricultores del Valle del Yaqui (riego en surcos) y riego por goteo en la superficie CENEB 2013 - 2017



Data: S. Mondal et al. (en publicacion)

Efectos Pleiotropicos multi-patogenos & otros genes de enroscamiento lento

- **Lr34** [Syn. =Yr18=Sr57=Pm38=Sb1=Bdv1=Fhb?=Ltn1]
cromosoma 7DS
(roya de la hoja, r. amarilla. del tallo, oidio, tizon foliar, BYDV, quemadura de la punta de la hoja)
- **Lr46** [Syn.=Yr29=Sr58=Pm39=Ts?=Ltn2]
cromosoma 1BL
- **Lr67** [Syn.= Yr46=Sr55=Pm46=Ltn3]
cromosoma 4DL
- **Sr2/Yr30/Lr cromosoma 3BS**
- **Lr68 cromosoma 7BL**
- **Varios consistentes APR QTLs, algunos con efectos en varios patogenos, p. ejm. en 1BS, 2AL, 2BS, 2DL, 5AL, 5BL, 6AL and 7BL (Li et al. 2014. Crop Sci. 54:1907-192)**



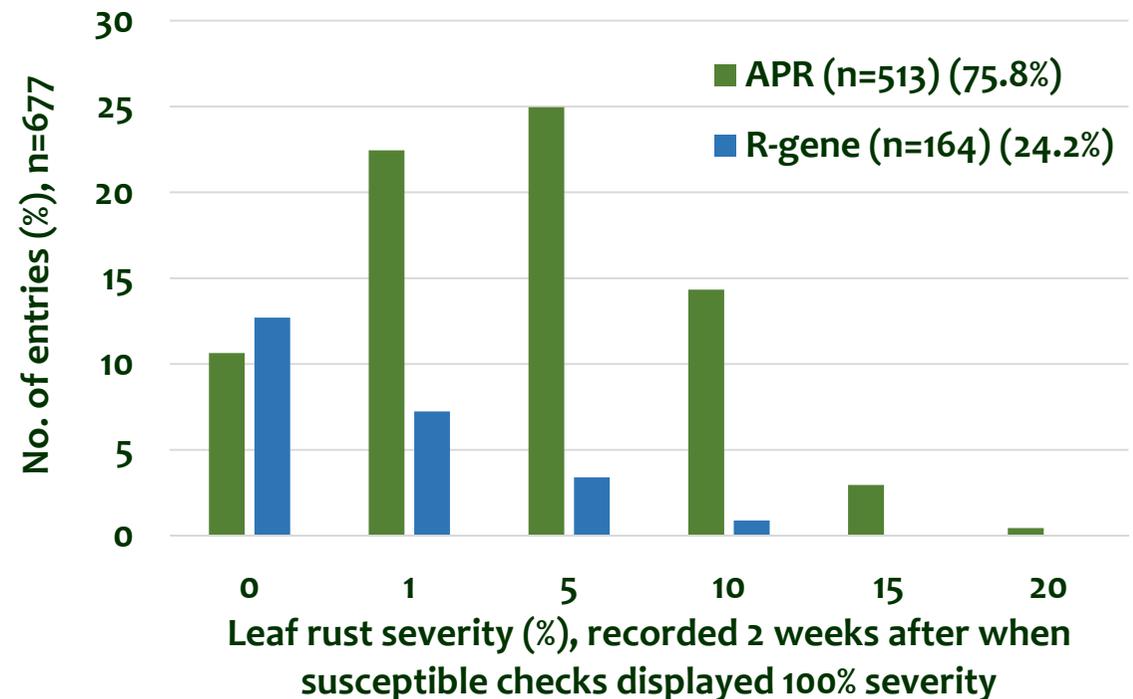
Casi-inmunidad (trazas a 5% severidad) obtenida al combinar 4-5 genes (Una genetica similar para otras enfermedades foliares como Fusarium de la espiga y tizon (blast) del trigo)

Resistencia de patogenia lenta en planta adulta a roya de la hoja: *prioridad principal en el germoplasma del CIMMYT*

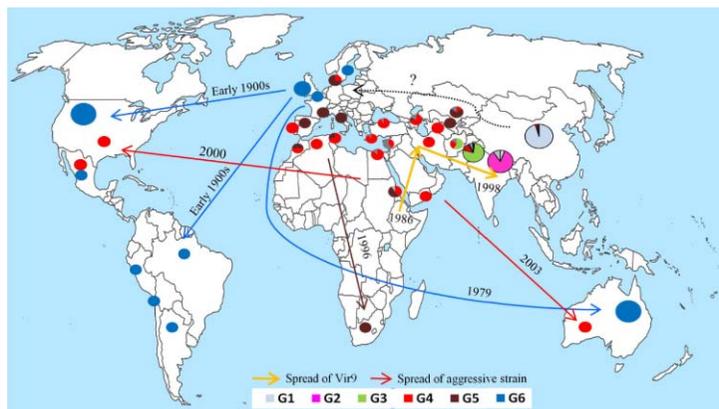


- **Variedades y germoplasma mejorado del CIMMYT poseen niveles de resistencia altos**
- **Roya de la hoja ya no es problema en países que cultivan variedades derivadas del CIMMYT**
- **Buen ejemplo de durabilidad y prioridad principal**

Resistencia a roya de la hoja en líneas de trigo distribuidas por los ensayos internacionales estación 2017-18

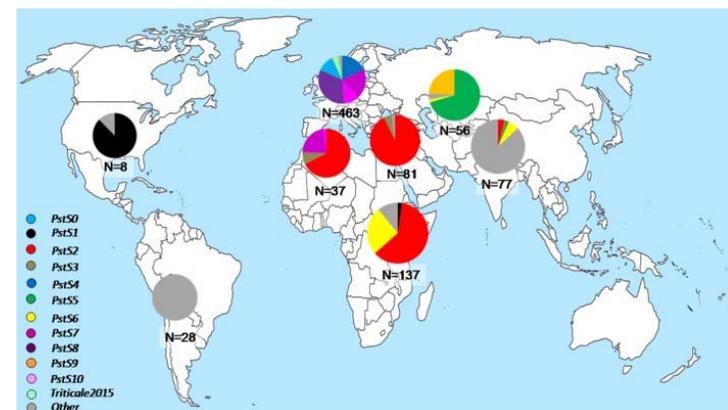


Reto continuo: Diseminacion de razas agresivas de *Puccinia striiformis* (yellow rust) (Ejm. Pst1/Pst2, Warrior & otras) adaptadas a temperaturas mas altas



Países con puntos rojos han confirmado la presencia de Pst1/Pst2

Fuente: Ali et al. (2014)
 PLoS Pathog 10(1): e1003903.
 doi:10.1371/journal.ppat.1003903



Colores diferentes muestran linajes identificados de muestras mundiales obtenidas del 2009-2015 (GRRC, Dinamarca)

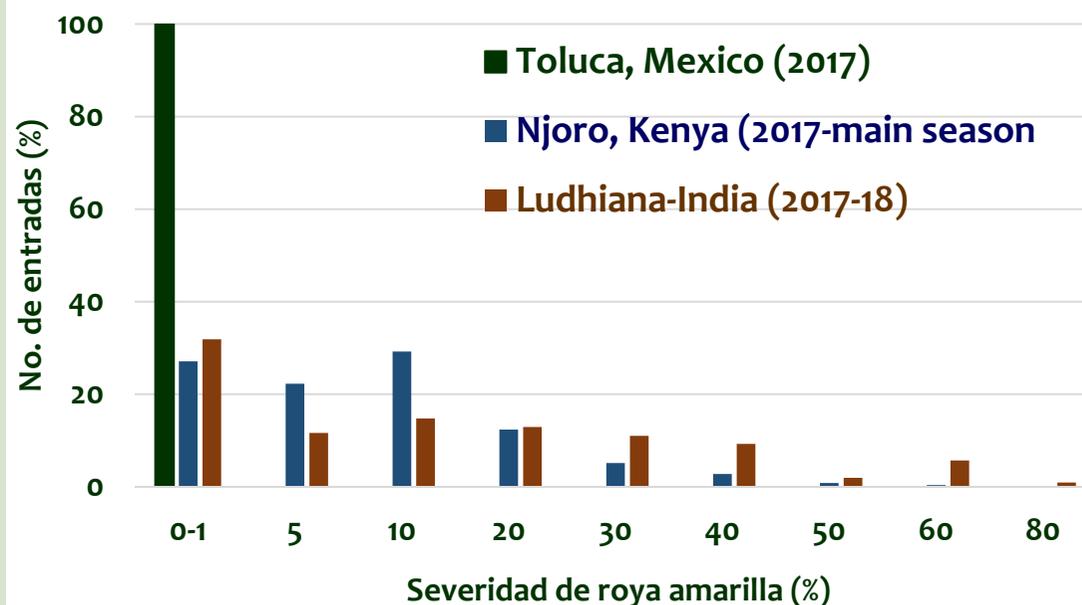
Fuente: Ali et al. (2017)
 Front Plant Sci 8: 1057.
 doi:10.3389/fpls.2017.01057

- Inicio de la infección más temprana
 - El desarrollo de la enfermedad es más rápido
 - La enfermedad progresa aun cuando las temperaturas son más calientes
 - Nuevas áreas de adaptación
 - Rápida evolución de nuevas virulencias
 - Reducida efectividad de la resistencia
- Programas de mejoramiento retados con diversas poblaciones pst evolucionando y emigrando
 - En México virulencia evoluciono para: Yr1, Yr3, Yr10, Yr24(=Yr26), Yr17, Yr27 & Yr31 en linaje de Pst1 en 12 años
(Una raza nueva cada dos años)

Objetivo: Obtener resistencia con genes efectivos en todas las etapas y casi-imunes

- 4-5 genes de RPA efectivos en la mayoría de áreas donde la infección inicia después del crecimiento del tallo
- Infecciones tempranas en algunas áreas por razas agresivas causan susceptibilidad juvenil
- Niveles altos de resistencia total por la interacción de genes de raza específica con efectos pequeños a intermedios por Ejm. Yr48 (5AL), Yr54 (2DL), Yr60 (4BL), Yr67 (7BL), YrF (2BS), etc.
- Selección simultánea en campo por resistencia y otros caracteres agronómicos incrementan las ganancias genéticas

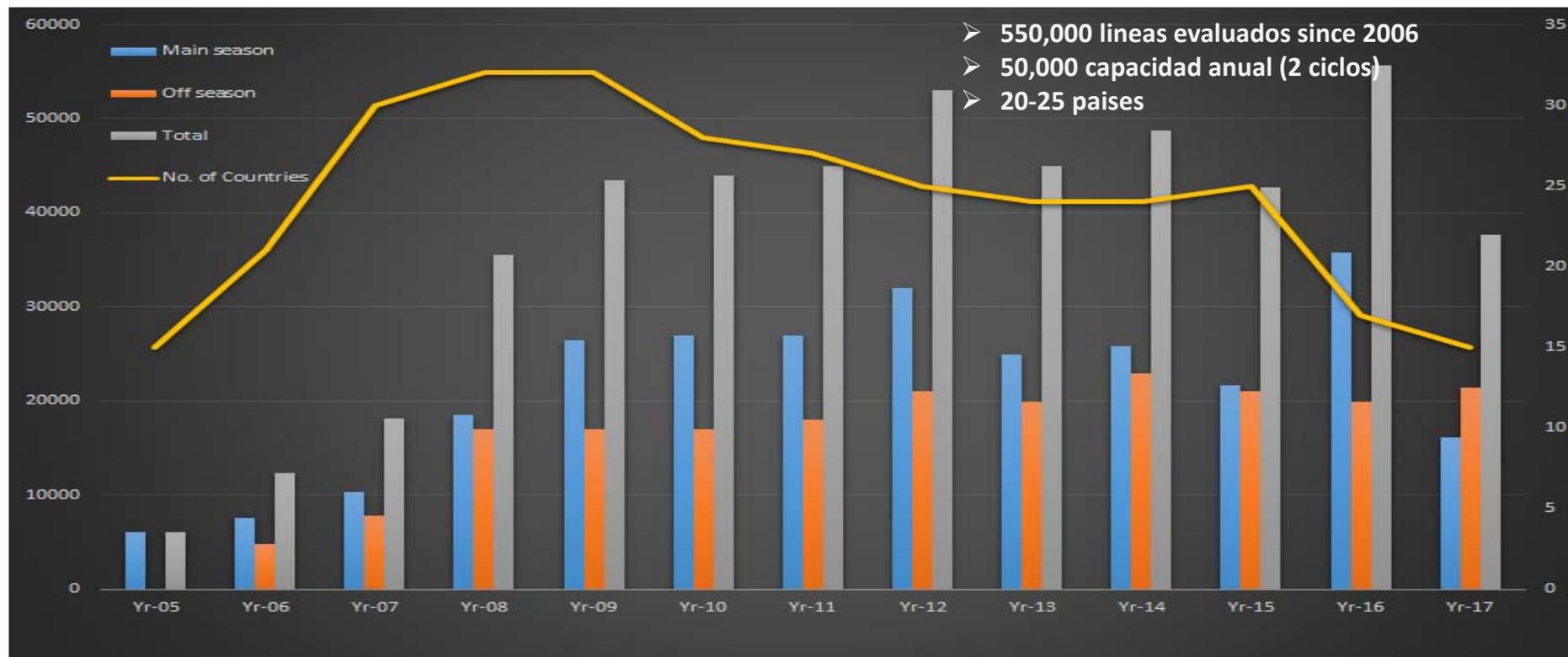
Severidad de roya amarilla de 1092 líneas de trigo en tres sitios con alta presión de la enfermedad



Una mayoría de líneas altamente resistentes en México muestran niveles de resistencia de intermedios a altos en Kenia e India

Urgente reducir el cultivo de variedades susceptibles

Ganacia genetica para resistencia a roya del tallo: Njoro (Kenia) plataforma de fenotipado



Lineas de trigo fenotipadas del 2005 al 2017 por resistencia a roya del tallo Ug99 y países participantes

Reporte 2017

- 38,000 líneas trigo y cebada
- 15 Países diferentes
 - 21,000 en primavera
 - 17,000 en otoño

Progreso en mejoramiento del trigo para resistencia a roya del tallo Ug99 en CIMMYT : resistencia en los ensayos internacionales actuales

- 10-15% líneas con niveles altos de resistencia de planta adulta
- 40-50% líneas con resistencia de planta adulta adecuada
- 20-30% líneas con genes de resistencia de raza-específica
- 20-30% líneas con resistencia inadecuada



Lineas nuevas con rendimiento alto y niveles de resistencia altos con base en el complejo de resistencia de planta adulta (Njoro, Kenia 2016)

Resistencia a *Septoria tritici*

Toluca, Mexico 2014

- Toluca, Mexico continua siendo importante como sitio de seleccion y fenotipeado
- Se mejoran lineas con alto rendimiento y resistentes:
 - e.g. *synthetic wheat derivatives*



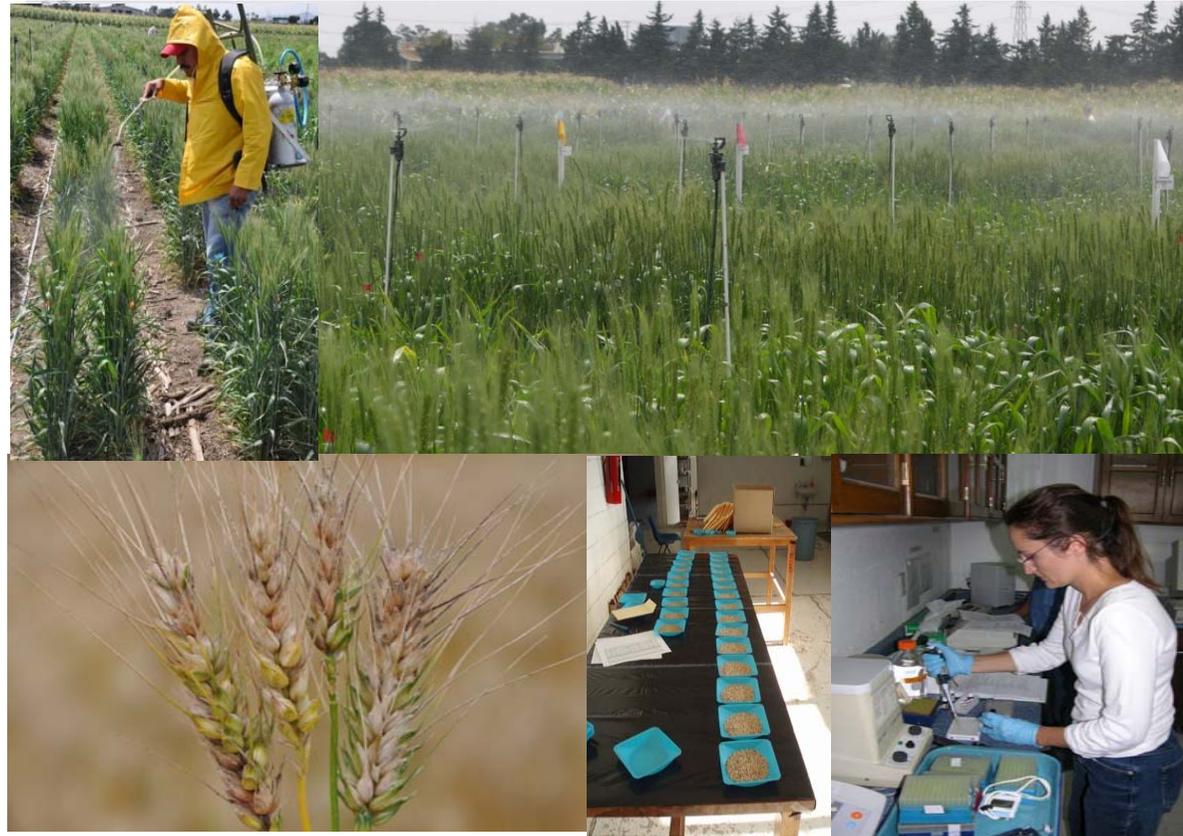
Holetta, Ethiopia 2017



Tizón de la espiga del trigo (Fusariosis)

Sitio de evaluación para Fusariosis

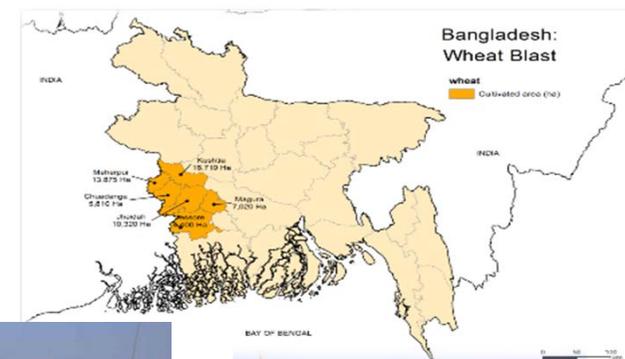
- Diversidad genética alta en el germoplasma, pero poca en variedades mejoradas
- Resistencia en su mayoría debida a genes menores
- *Sr2-Fhb1* recombinantes en proceso de incorporación en los trigos del CIMMYT
- El Programa de Trigo del CIMMYT esta incorporando resistencia en germplasma de grano rojo y blanco



ELISA
Ridascreen Fast DON

OID	SD	OID	Cross Name	2009 TMB Index	2009 DON [ppm]	Summit_5A	Summit_5B	Summit_5C	Summit_5D	Summit_5E	Summit_5F	Summit_5G	Summit_5H	Summit_5I	Summit_5J	Summit_5K	Summit_5L	Summit_5M	Summit_5N		
481811	130	5891160	MIRWASL31/ZHOJK/CPACA/S12/PHU2*FACTOR	9.0	8.9	X															
486147	612	5893113	BEKAUT/HFG	0.7	3.3																X
488152	105	5895341	SOEJAJENKAUBUR	1.7	8.4																X
481368	375	5895045	PBW345*2/NOHAI//FACTOR/SUS	2.8	21.8																X
485077	82	5894476	SITTA/CH//IBENA/5/KENYA HERICE	6.8	8.5																X X
492063	55	5794547	PBW345*2/NUKUNA/PBW345*2/NUKUNA/S/PBW343	1.8	1.0																X
491805	33	5794548	WILLI*2/NUKUNA/KRONITAD F3004	3.6	1.2																X
485254	19	5792817	WAW/WG*/NSOKITAD F3004	12.5	4.7																X
487927	12	5791521	CROC_LINE/SIJARROSA C205/PAL/23/18/TILAL/PPAU/MLAN	13.5	7.3																X
485287	12	5792860	PPAU/NERI 18/(AMMO/S)/2*HAW/284/HR4/PANIA	14.6	4.0																X
4865	0	10004	SUNAMI RB	0.1	0.3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7776	49	422087	OLORDONI F 86	15.8	5.4																

Nuevos retos en Asia del Sur: Tizon del trigo (causado por *Magnaporthe oryzae*)



- Migro al Sur de Asia de America del Sur
- Epidemia localizada en Bangladesh en 2016, y presencia en 2017 & 2018
- La translocacionVPM1 2NS (Yr17/Lr37/Sr38) esta asociada con resistencia moderada, sin embargo, existe una variacion amplia en resistencia por otros genes
- La variedad resistente 'BARI Gom 33' fue liberada en Bangladesh en 2017



Fuente de fotos: BARI

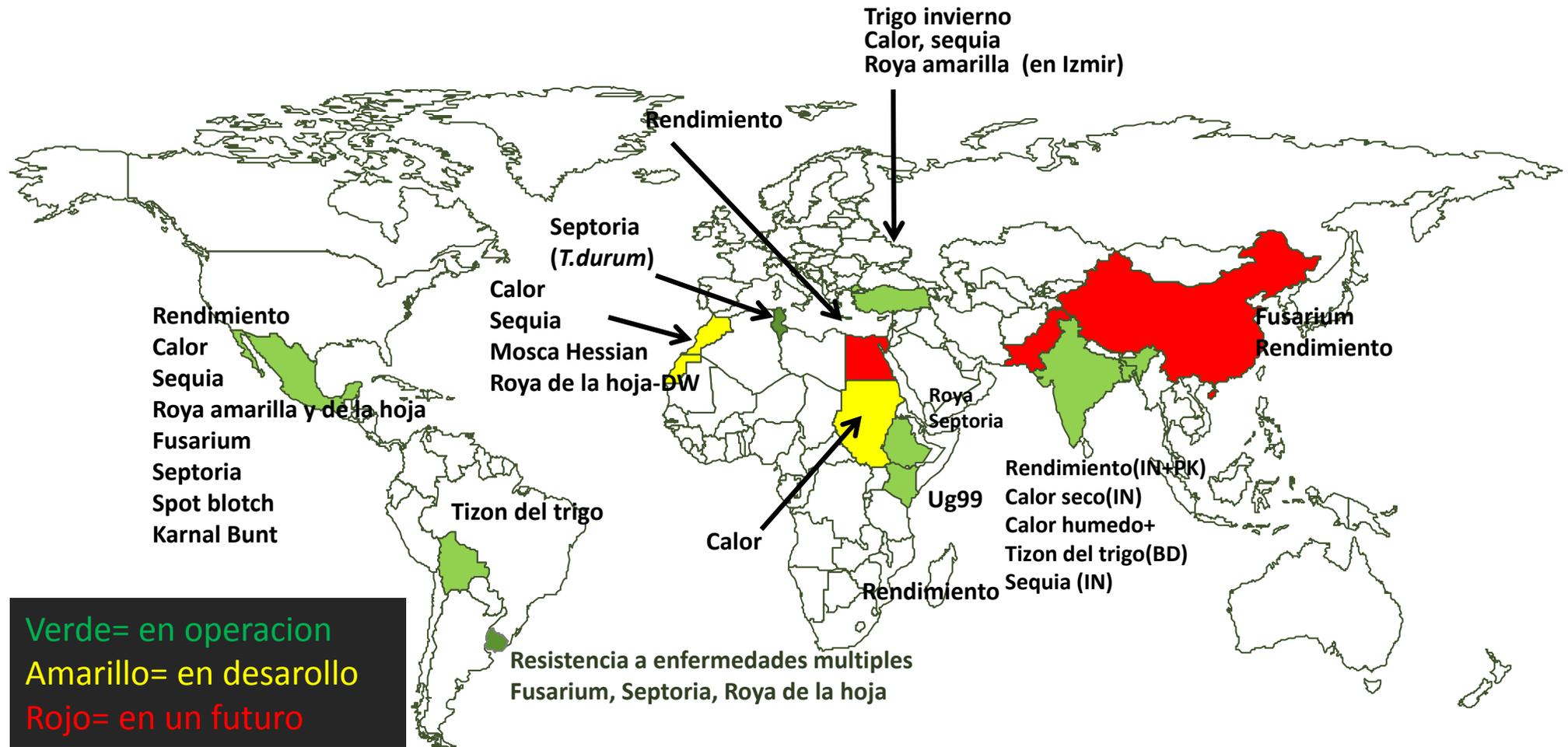


BARI Gom 33

Resistente a tizon e biofortificada

CIMMYT^{MR}

Red del fenotipo mundial para mejoramiento de trigo

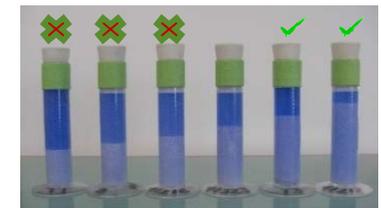
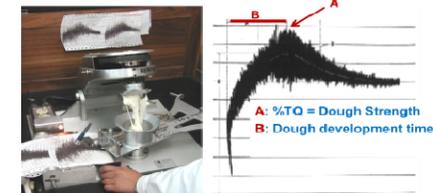


Plataformas de Fenotipado

- Centros para generar datos fenotipicos de alta calidad bajo buenas practicas; promoviendo entrenamiento y compartiendo los conocimientos generados.
- Algunos sitios representan cambios climaticos analogos; otros son sitios idoneos para enfermedades especificas.

Prueba de calidad de trigo

- **Carísticas de grano:** densidad (peso hectolitrico), tamaño (peso de mil grano) e color. **Analysis de imagen.**
- **Propiedades del grano:** dureza y contenido de proteína. **Near-infrared Spectroscopy (NIRS).**
- **Propiedades de Molienda:** rendimiento de harina y contenido de cenizas. **Brabender Quadrumat Senior mill.**
- **Propiedades farinologicas:** contenido de proteína y absorcion de agua. **NIRS.**
- **Calidad del gluten :** calidad del gluten en general, tiempo maximo de mezclado, fuerza y extensibilidad del gluten. **SDS-Sedimentation, mixograph and alveograph.**
- **Calidad de panificacion:** Volumen de pan, calidad de la miga y color.



Progreso: Calidad panadera

Volumen de pan ded 100 g de harina (Straight-dough method)

550 mL

650 mL

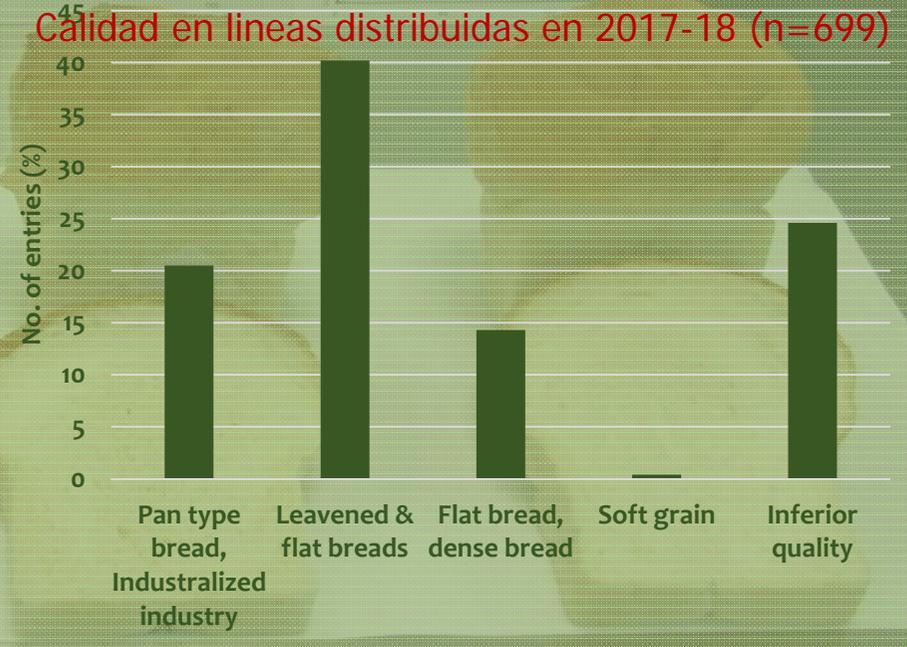
800 mL

900 ml

Fijar alelos de gluteninas deseables en los padres para obtener mayor frecuencia de progenies con buena calidad



Calidad en líneas distribuidas en 2017-18 (n=699)



muy pobre

Glu -A1	0
Glu-A3	e
Glu-B1	20
Glu-B3	c
Glu-D1	2+12
Glu-D3	c

Pobre

Glu -A1	0
Glu-A3	c
Glu-B1	7
Glu-B3	c
Glu-D1	2+12
Glu-D3	b

Aceptable

Glu -A1	1
Glu-A3	b
Glu-B1	7+8
Glu-B3	b
Glu-D1	5+10
Glu-D3	d

Excelente

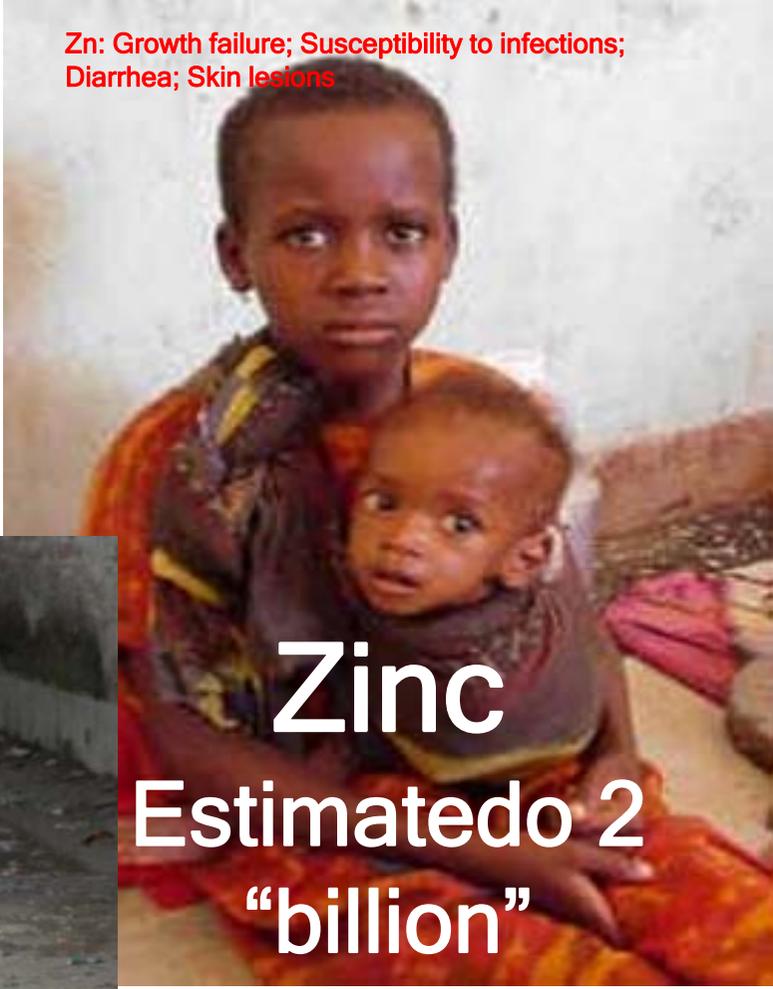
Glu -A1	2*
Glu-A3	d
Glu-B1	7+9
Glu-B3	b
Glu-D1	5+10
Glu-D3	a

Proyecto Harvest Plus :considerando el reto mundial en la deficiencia de micronutrientes mediante trigo biofortificado



Hierro
Estimatedo 2
“billion”

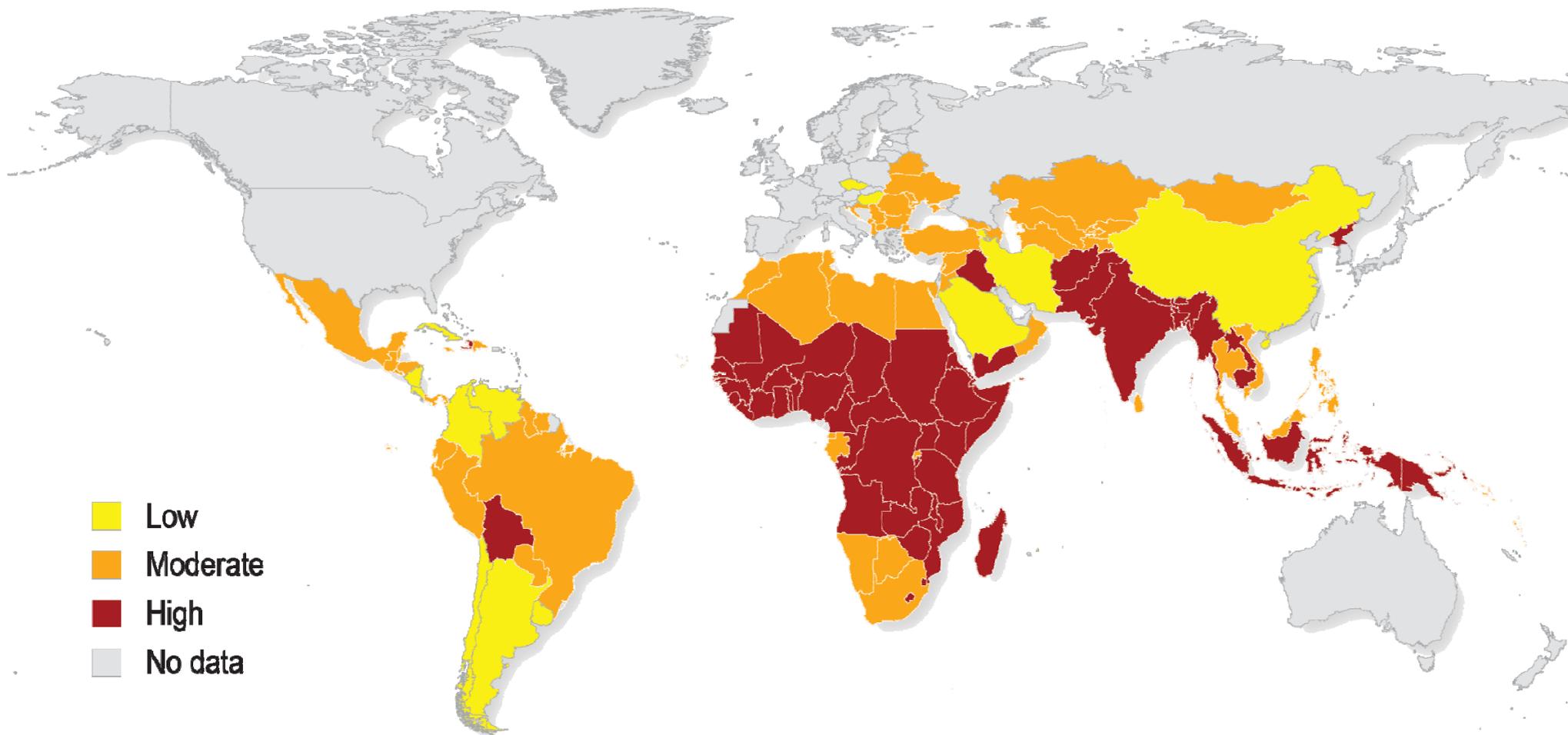
WHO, 2006



Zn: Growth failure; Susceptibility to infections;
Diarrhea; Skin lesions

Zinc
Estimatedo 2
“billion”

Densidad de poblacion de Niños con underpeso (UN)



Progreso de trigo biofortificado: De recursos geneticos a trigos con alto Zinc con agricultores de Asia del Sur en menos de 10 años

Progenitores:



= **Zn-Shakti, PVS variety:** Extra-early with +14 ppm Zn (40% increase) adopted by >40000 farmers in NEPZ
CROCI /AE.SQUARROSA(210)//
 INQALAB 91*2/KUKUNA/3/
 PBW343*2/KUKUNA



= **Zincol 2016:** 1st high zinc wheat in Pakistan with +6 ppm Zn = 2000 tons of seed to be sown in 2016-17
OASIS/SKAUZ//4*BCN/3/2*PASTOR/
4/T.SPELTA PI348449/5/BACEU
 #1/6/WBLL1*2/CHAPIO

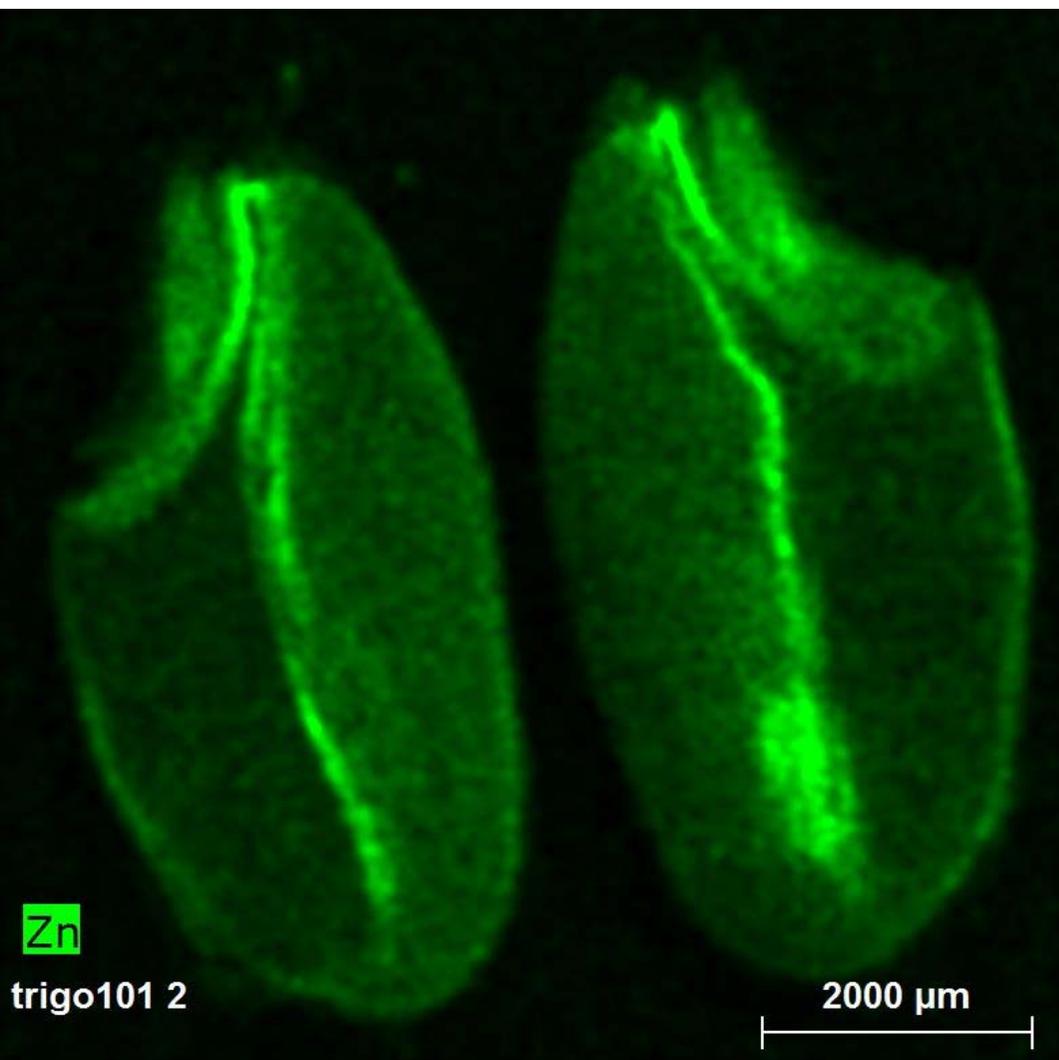


= **WB2, PBW1-Zn, Ankur Shiva:** Three sister lines (+6 ppm Zn) released for NWPZ of India in 2017
T.DICOCCONCI9309/AE.SQUARROSA
(409)//MUTUS/3/2*MUTUS

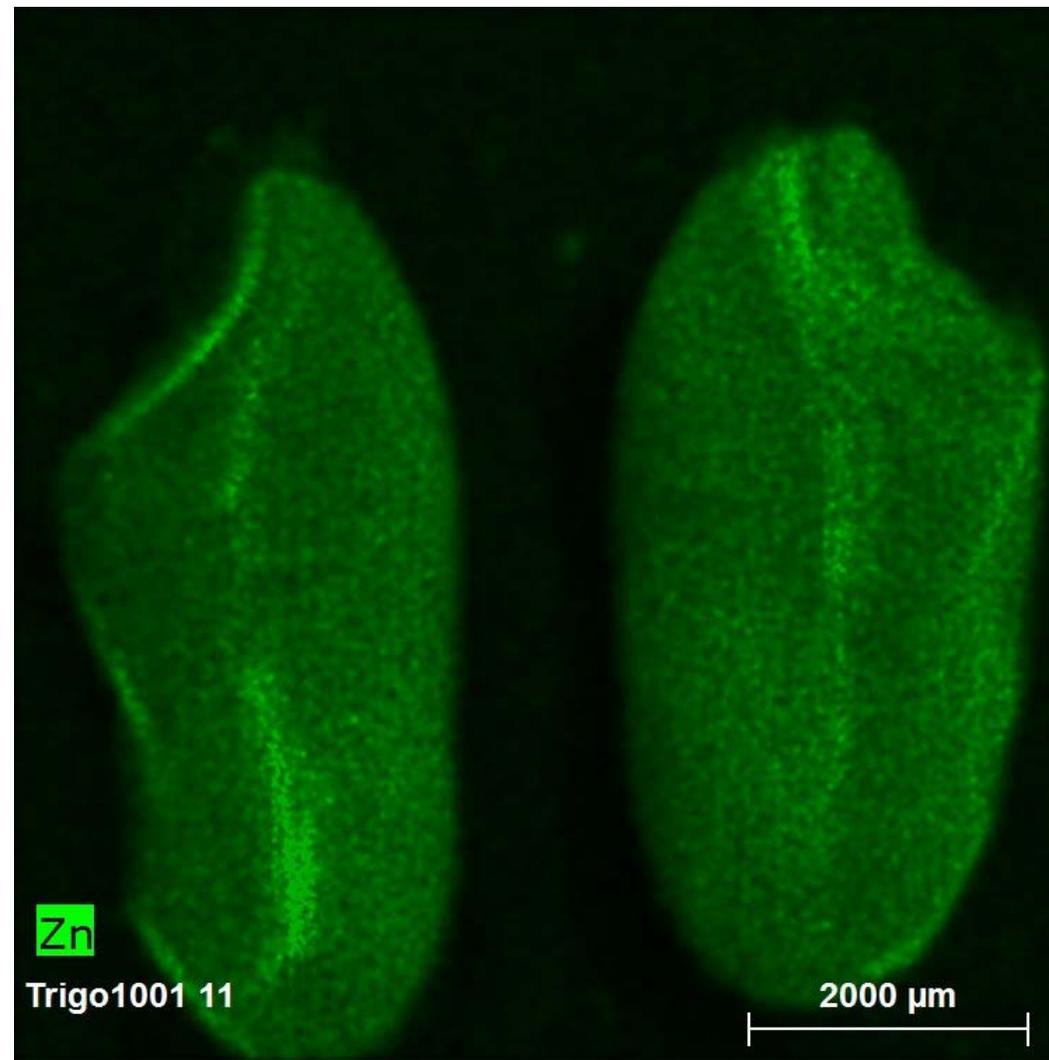


localizacion del Zinc en el grano de trigo

Trigo biofortificado (Zn- Shakti)

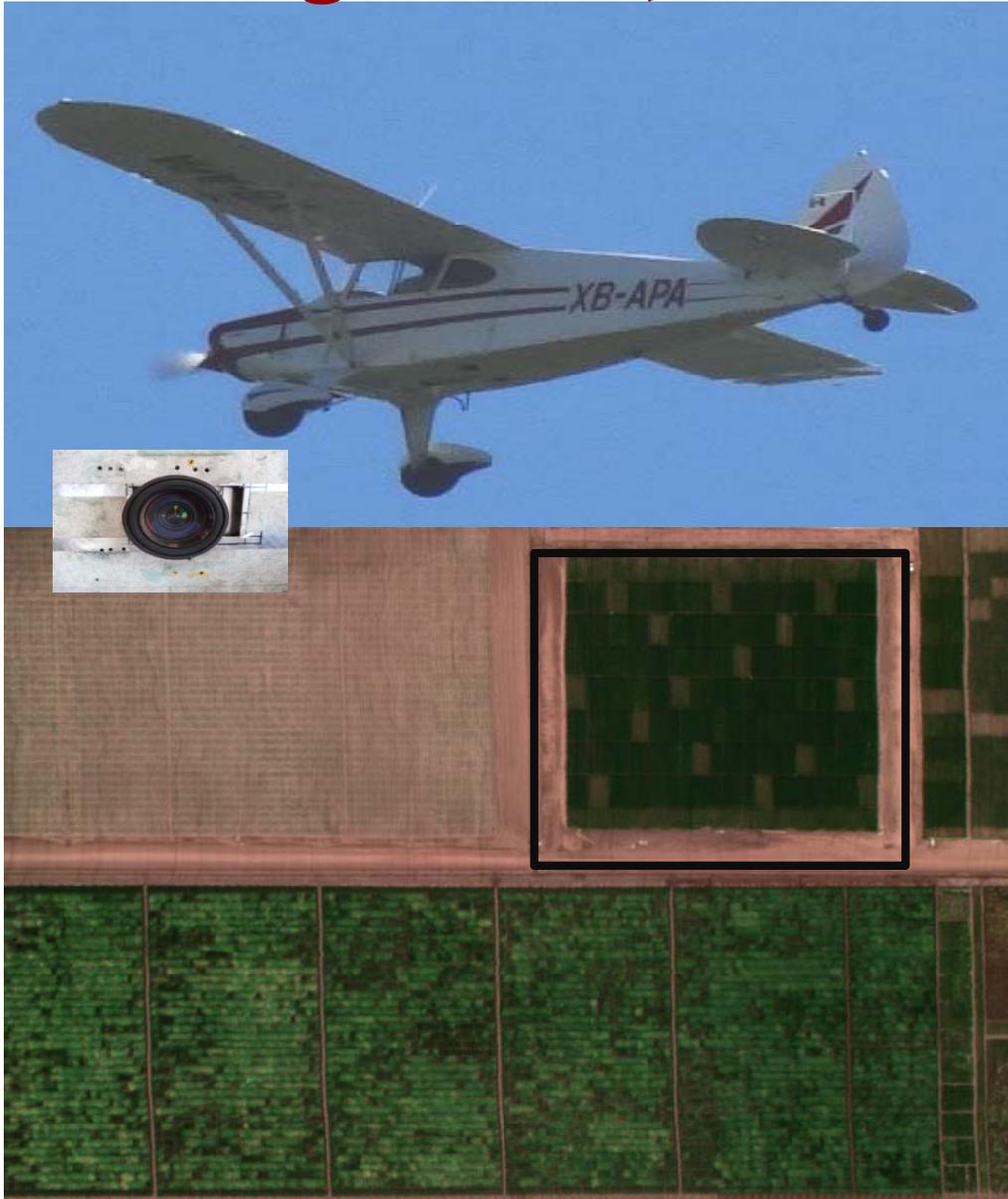


Variedad normal (Baj)

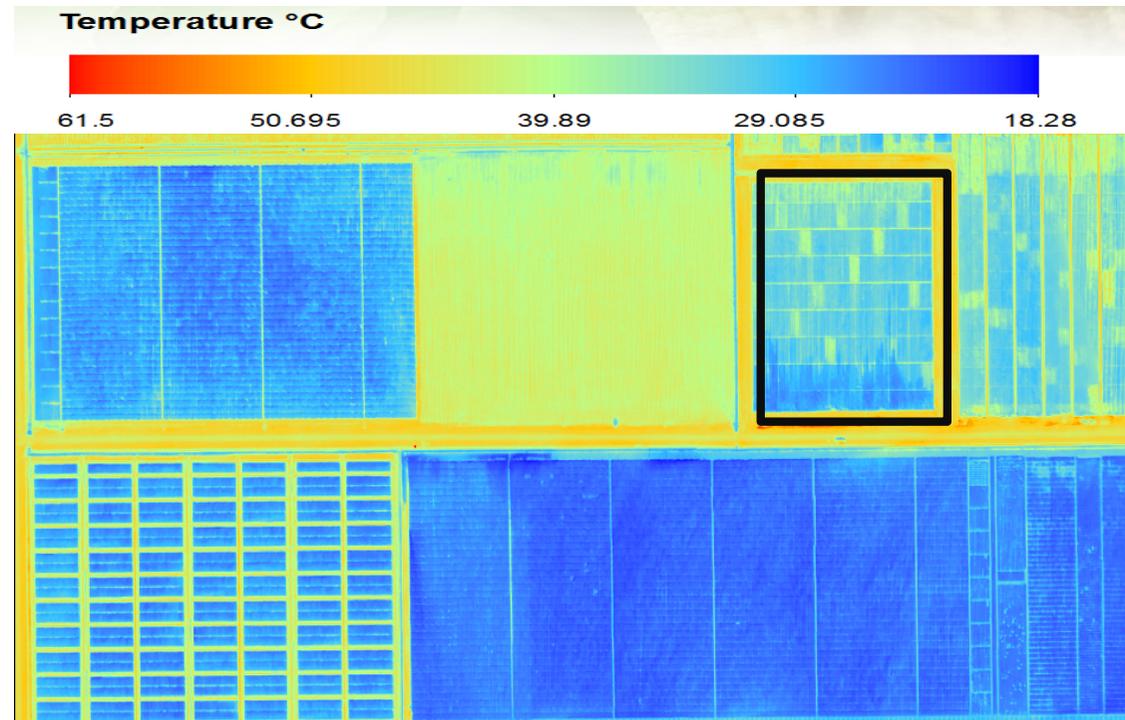


Guerra et al. 2018)

High Throughput Phenotyping (HTP) en Cd. Obregon- Mejoramiento de trigos harineros



- Fenotipeado aero usando vuelo de Piper PA con camaras FLIR and Hyper
- Cobertura del area grande





UAS en Cd. Obregon, Mexico

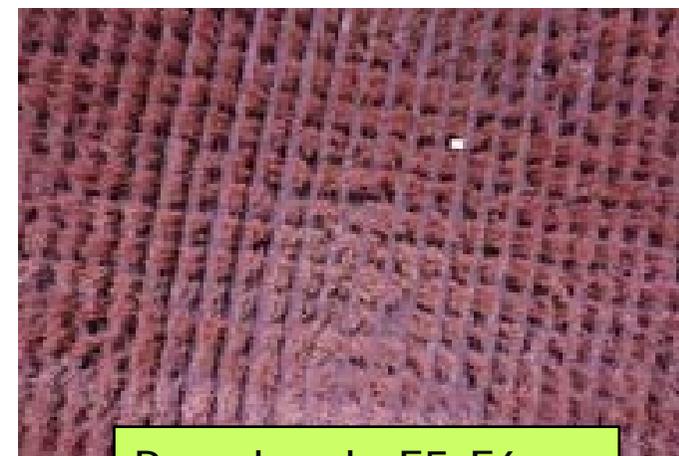


UAS en Ludhiana, India



HTP - Mejoramiento de trigos harineros

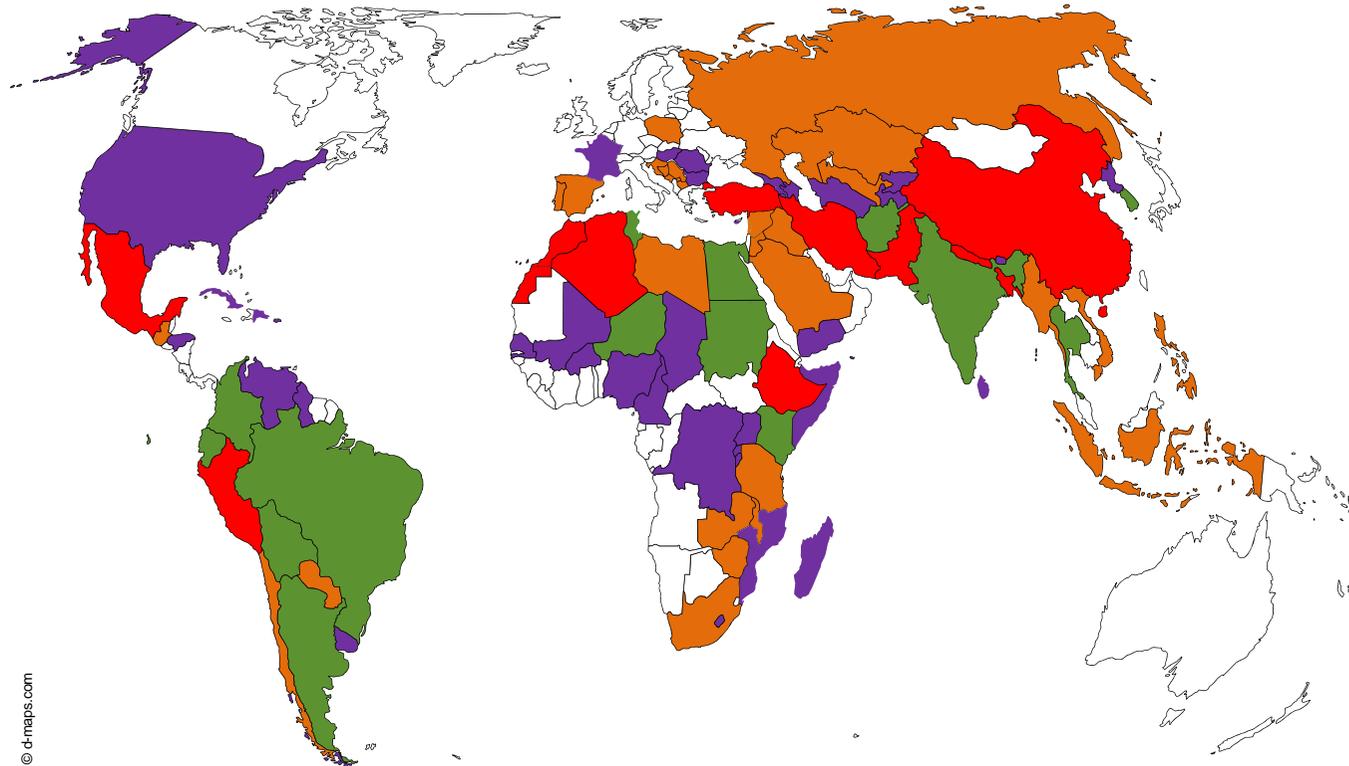
- Drones de bajo costo (UAS)- sistemas desarrollada en Kansas State University (~1000USD)
- Canon camera con filtro para capturar datos de NDVI
- Uso en fenotipado de ensayos de rendimientos del programa de mejoramiento en Cd. Obregon, Mexico y en 3 estaciones de BISA-India



Parcelas de F5-F6:
numeros grande,
tamaño pequeño

Entrenamiento en servicio– la espina dorsal del IWIN

Países de donde han venido entrenados al CIMMYT : 1961 - 2016



Red: 40-95 / Blue: 20-37 / Green: 5 - 19 / Purple 1 - 4

Norman Borlaug:

**Mi mayor impacto no es por las líneas de trigo, sino el entrenamiento
Cooperadores de IWIN bien entrenados, proporcionan datos fenotipicos
precisos**

Resultados: Por lo menos 95 variedades derivadas del CIMMYT liberadas por 20 países (2015-2018)

Country	Name of variety
Afghanistan	Daima-17, Lalmi-17, Shamal-17
Argentina	BIOCERES 1008, MS INTA 815
Australia	Borlaug100, SEA Condamine
Bangladesh	BARI Gom 31, BARI Gom 33
Bhutan	Bumthang kaa Drukchu
Bolivia	Cupesi CIAT, INIAF Tropical
Egypt	Misr 3
Ethiopia	Amibara 2, Kingbird, Lemu, Wane
India	Ankur Shiva, DBW107, DBW110, DBW168, DBW93, HI1612, HI1605, HS562, PBW658, PBW677, PBW1Zn, Pusa Kiran, Pusa Vatsala, Super 252, Super272, WB2, WH1142
Iran	Baharan, Barat, Ehsan, Mehrgan, Rakhsahn, Sarang, Talaei, Tirgan
Kenya	Kenya Deer, Kenya Falcon, Kenya Hornbill, Kenya Peacock, Kenya Pelican, Kenya Songbird, Kenya Weaverbird
Mexico	Bacorehuis F2015, Conatrigo F2015, Nípal F2016, Ciro NL F2016
Nepal	Chyakhura, Danphe, Munal, Tilottama
Nigeria	Lacriwhit 9, Lacriwhit 10
Pakistan	Anaaj-17, Barani-17, Borlaug 2016, Ihsan-16, Israr-shaheed-2017, Khaista-17, Kohat-17, NIFA-Aman, Pakhtunkhwa-15, Pasina-2017, Pirsabak-15, Shahid-2017, Sindhu-16, Ujala-16, Wadaan-2017, Zincol 2016
Rwanda	Cyumba, Gihundo, Keza, Kibatsi, Majyambere, Mizero, Nyangufi, Nyaruka, Reberaho, Rengerabana
Spain	Tujena
Sudan	Ageeb, Akasha
Tajikistan	Haydari, Roghun
Turkey	Altinoz, Ekinoks, Kayra, Koc 2015, Nisrat

Agradecimientos

Fundacion Bill y Melinda Gates, y DFID (UK)

Proyecto DGGW

Proyecto HarvestPlus
(CRP A4NH)

Gobiernos:

ACIAR, Australia

BMZ, Alemania

ICAR, India

SAGARPA, Mexico

USAID, USA

Organizacions de Agricultores:

Agrovegetal, Spain

GRDC, Australia (Proyectos ACP
& CAIGE)

Patronato-Sonora, Mexico

Los Programas de Investigacion TRIGO del CGIAR reciben fondos W1&W2 De los gobiernos de Australia, Belgica, Canada, China, Francia, India, Japon, Korea, Holanda, Nueva Zelanda, Noruega, Suecia, Suiza, Reino Unido., U.S., y Banco Mundial.

Gracias