

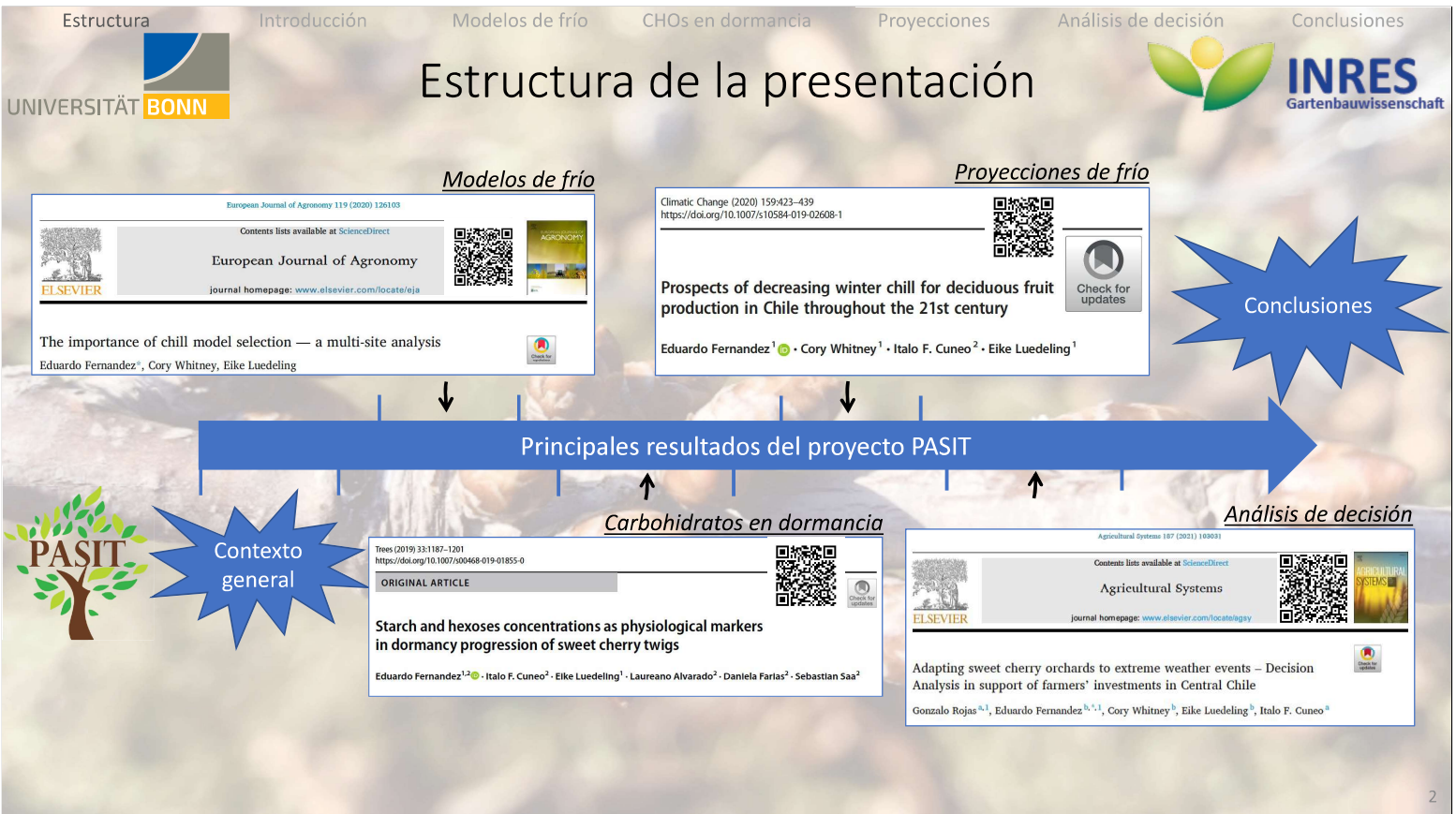
Dormancia en frutales caducifolios – Perspectivas para el cultivo en un clima cambiante

Principales resultados del proyecto *Phenological And Social Impacts of Temperature increase: climatic consequences for fruit production in Tunisia, Chile and Germany (PASIT)*

Dr. Agr. Eduardo Fernández

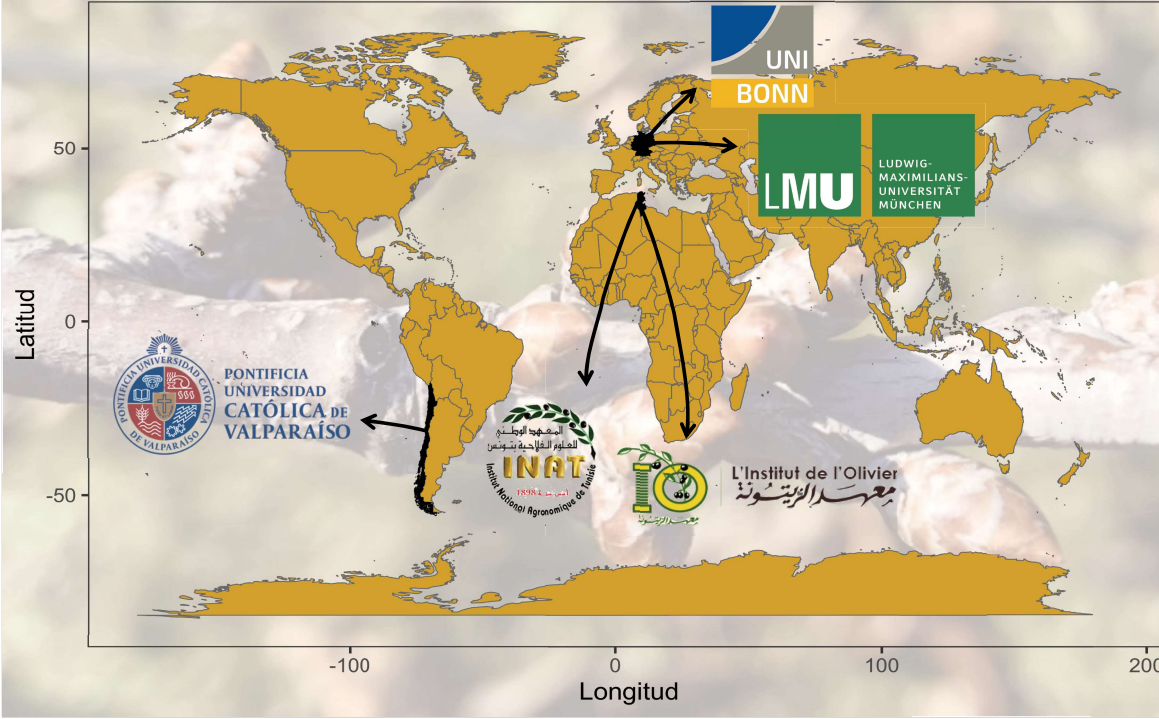
Department of Horticultural Science, Institute of Crop Science and Resource Conservation (INRES), University of Bonn

Martes 28 de Septiembre de 2021



El proyecto PASIT

Phenological And Social Impacts of Temperature increase

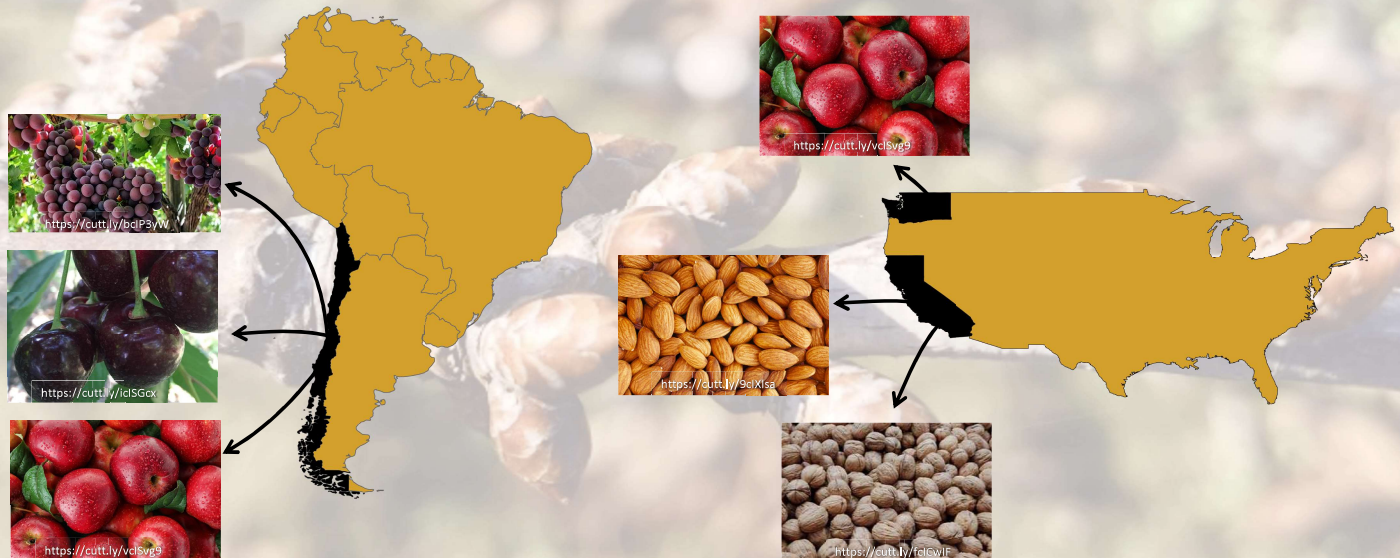


- Investigar impactos actuales y potenciales del cambio climático en el cultivo y rendimiento de cerezos, durazneros y almendros

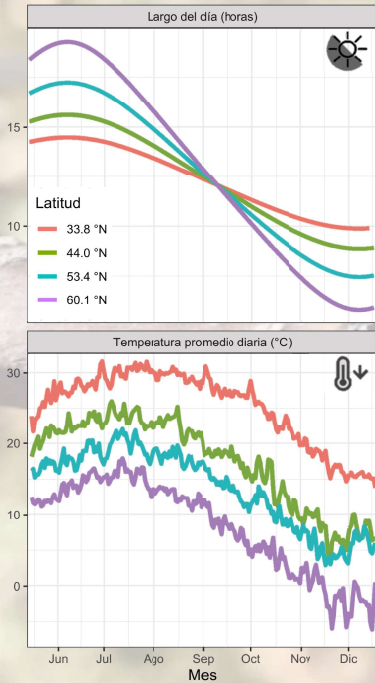


Importancia de los frutales caducos

- En 2018, frutas originarias de clima templado contribuyeron con aproximadamente el 48% de la producción total de fruta (FAOSTAT, 2020)



El estado de dormancia



- El estado de dormancia protege los meristemas dentro de las yemas y otras estructuras de crecimiento (Lang et al. 1987)

Lang, G.A., Early, J.D., Martin, G.C., and Darnell, R.L. 1987. *HortScience* 22, 371-377

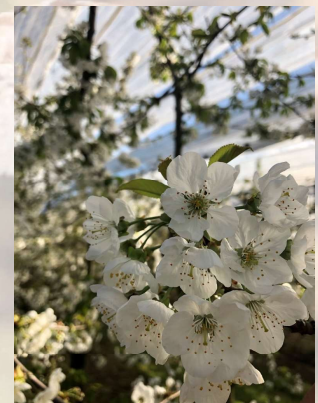
5

Requerimiento de frío y calor



Modificado de Kaufmann and Blanke (2017)

- Endo-dormancia es asociada con acumulación de frío (Requerimiento de frío - RF)
- Eco-dormancia es asociada con la acumulación de calor (Requerimiento de calor - RC)

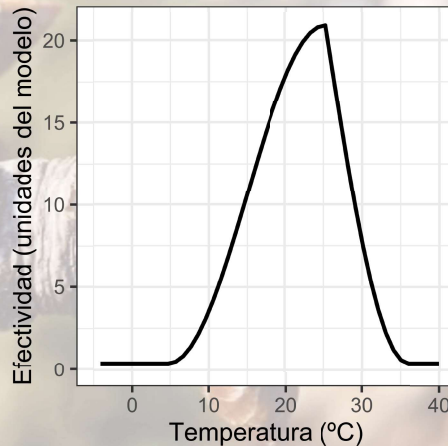


Kaufmann, H., and Blanke, M. 2017. *J. Plant Physiol.* 218, 1-5

6

Cuantificación de requerimientos

- El modelo de calor más usado es el modelo **Horas grado de crecimiento** o **Growing Degree Hours - GDH** (Anderson et al. 1986)



- Ampliamente usado en diversas áreas de estudio
- Bien establecido en el área de dormancia



Anderson, J.L., Richardson, E.A., and Kesner, C.D. 1986. Acta Hort. 184, 71-78

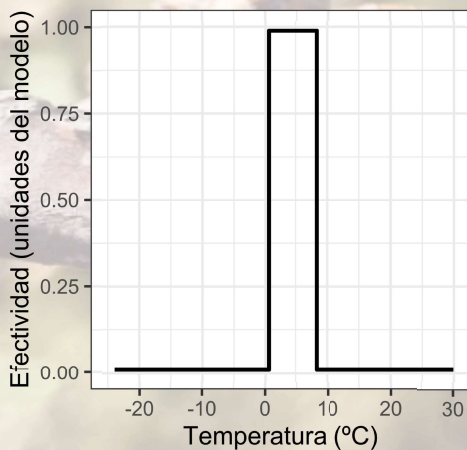
7

Cuantificación de requerimientos

- Existen tres modelos ampliamente utilizados en agricultura para estimar la acumulación de frío

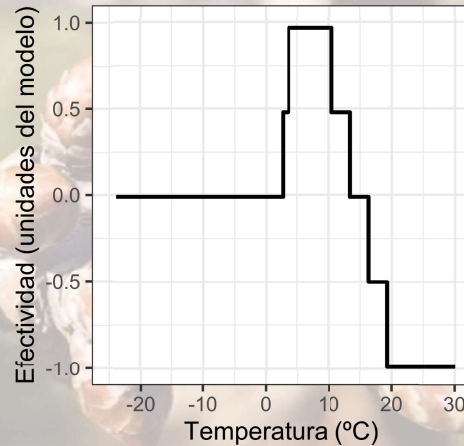
1) Horas frío o Chilling Hours

(Hutchins 1932 citado por Weinberger 1950)



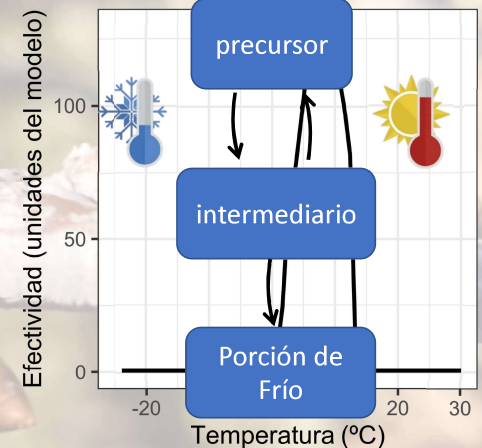
2) Utah

(Richardson et al. 1974)



3) Dinámico o Dynamic

(Fishman et al. 1987a,b; Erez et al. 1990)



Erez, A., Fishman, S., Linsley-Noakes, G.C., and Allan, P. 1990. Acta Hort. 276, 165-174

Fishman, S., Erez, A., and Couvillon, G.A. 1987a. J. Theor. Biol. 126(3), 309-321

Fishman, S., Erez, A., and Couvillon, G.A. 1987b. J. Theor. Biol. 124(4), 473-483

Richardson, E.A., Seeley, S.D., and Walker, D.R. 1974. HortScience 1, 331-332

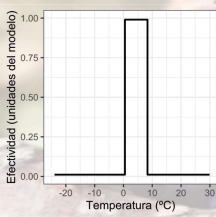
Weinberger, J.H. 1950. Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 56, 122-128

8

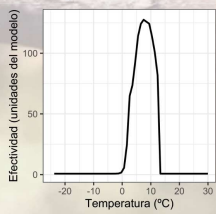
Problemas de los modelos de frío

- Los modelos de frío no son intercambiables (Luedeling and Brown 2011)

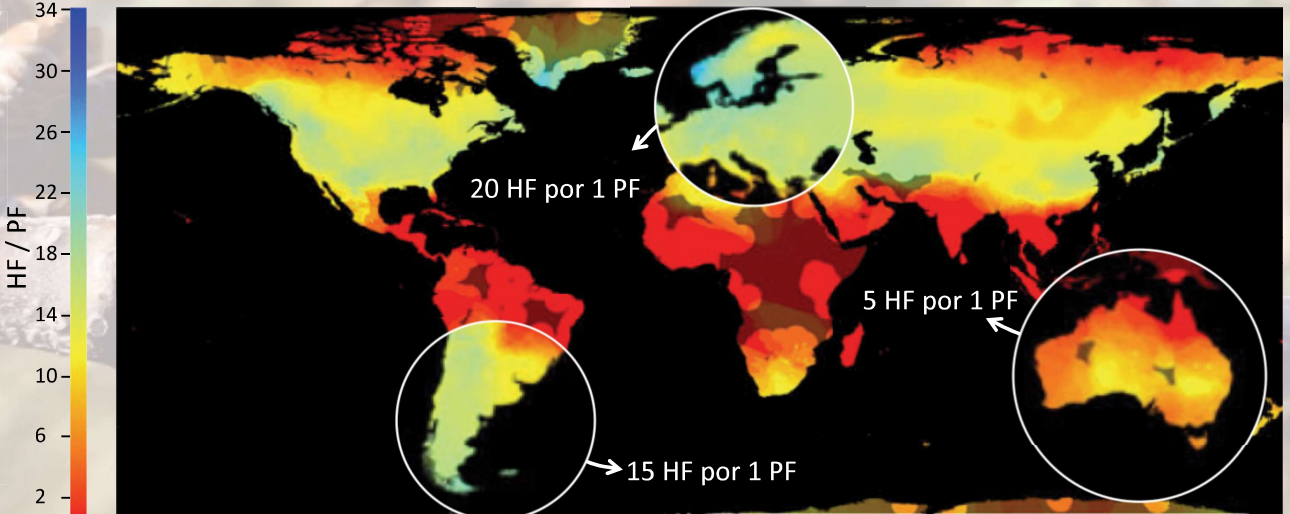
Modelo horas frío



VS



Modelo dinámico



El modelo que usamos importa!

Luedeling, E., and Brown, P. 2011. Int. J. Biometeorol. 55, 411-421

9

Comparación de modelos de frío

- Diversos estudios sugieren que el modelo **dinámico** es el más *confiable* para estimar la acumulación de frío (Luedeling et al. 2009; Zhang and Taylor 2011)

2017

Scientia Horticulturae 224 (2017) 324–331

Contents lists available at ScienceDirect

Scientia Horticulturae

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scihorti

Inhibition of carbohydrate metabolism by thermal fluctuations during endodormancy lead to negative impacts on bud burst and incidence of floral necrosis in 'Housui' Japanese pear flower buds

Humberto Mitio Horikoshi, Yoshihiko Sekozawa, Sumiko Sugaya*

2018

The Horticulture Journal 87 (2): 166–173. 2018.
doi: 10.2503/hortj.OKD-089

Predicted Effects of Climate Change on Winter Chill Accumulation by Temperate Trees in South Korea

YoSup Park¹, ByulHaNa Lee^{2*} and Hee-Seung Park¹

European Journal of Agronomy 119 (2020) 126103

Contents lists available at ScienceDirect

European Journal of Agronomy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/eja

The importance of chill model selection — a multi-site analysis

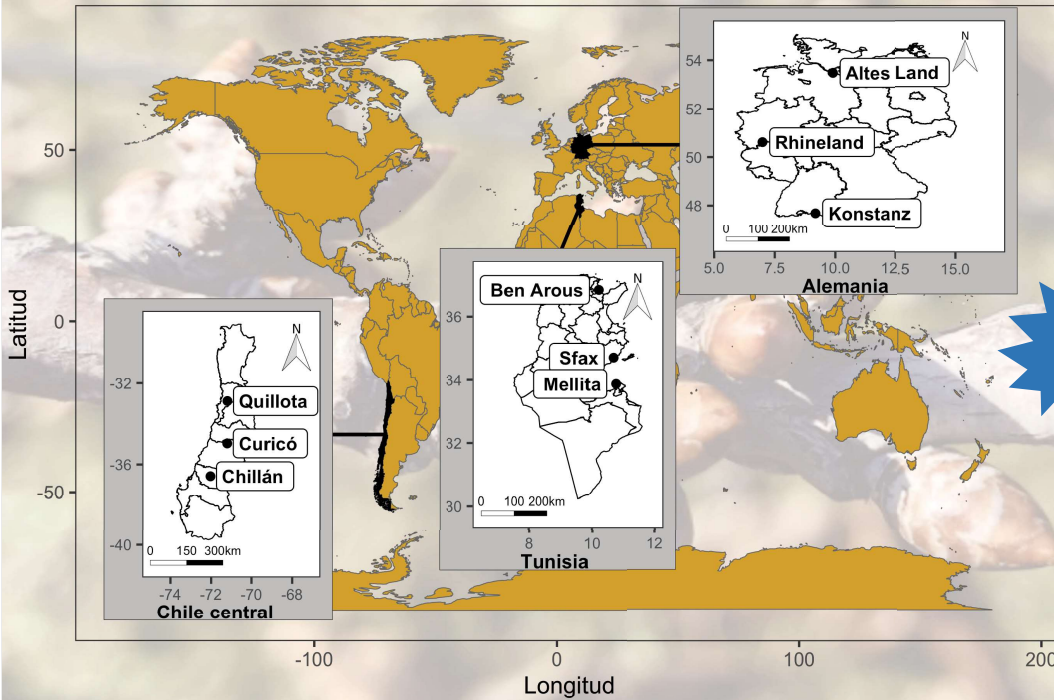
Eduardo Fernandez^{*}, Cory Whitney, Eike Luedeling

- **Presentar un análisis actualizado del comportamiento de diferentes modelos en escenarios históricos y futuros en tres países**

Fernandez, E., Whitney, C., and Luedeling, E. 2020. Eur. J. Agron. 119, 126103
 Horikoshi, H.M., Sekozawa, Y., and Sugaya, S. 2017. Sci. Hortic. 224, 324-331
 Luedeling, E., Zhang, M.H., Luedeling, V., and Girtvetz, E.H. 2009. Agric. Ecosyst. Environ. 133(1-2), 23-31
 Park, Y., Lee, B., and Park, H. 2017. The Hortic. J. 87(2), 166-173
 Zhang, J.L., and Taylor, C. 2011. HortScience 46(3), 420-425

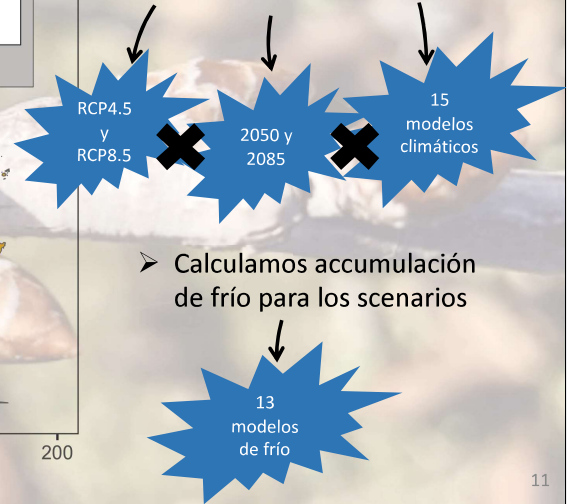
10

Comparación de modelos de frío



➤ Datos climáticos 1973 – 2017

➤ Generamos datos de 100 temporadas usando 10 escenarios históricos y 60 escenarios futuros



➤ Calculamos acumulación de frío para los escenarios

Comparación de modelos de frío

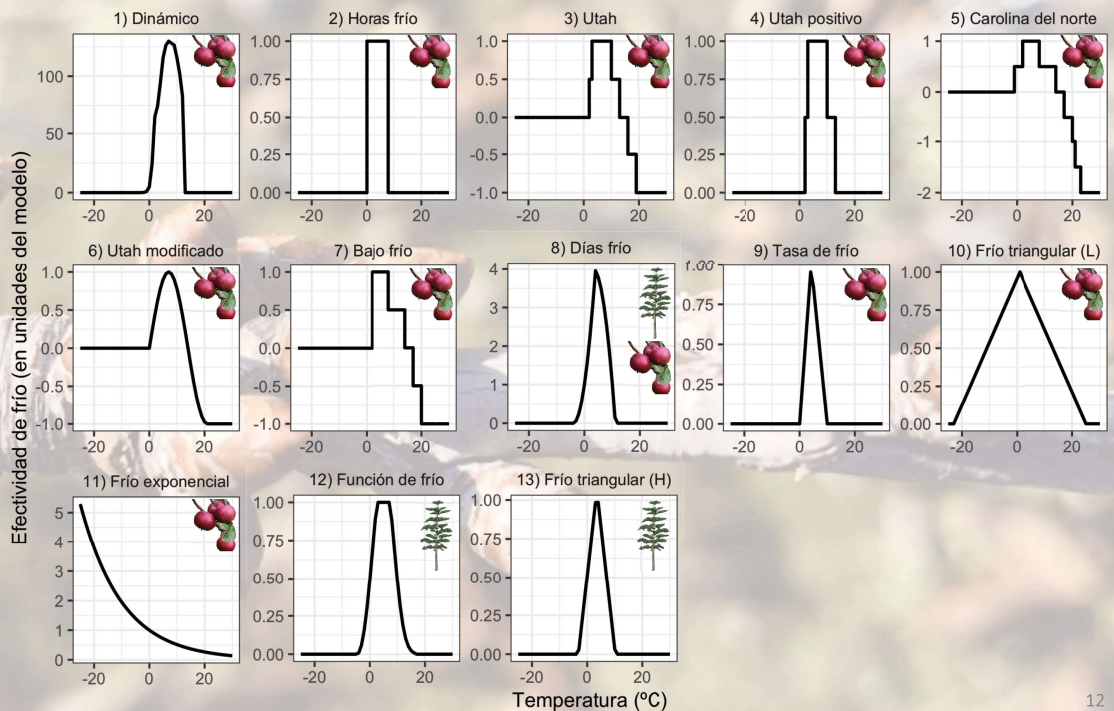


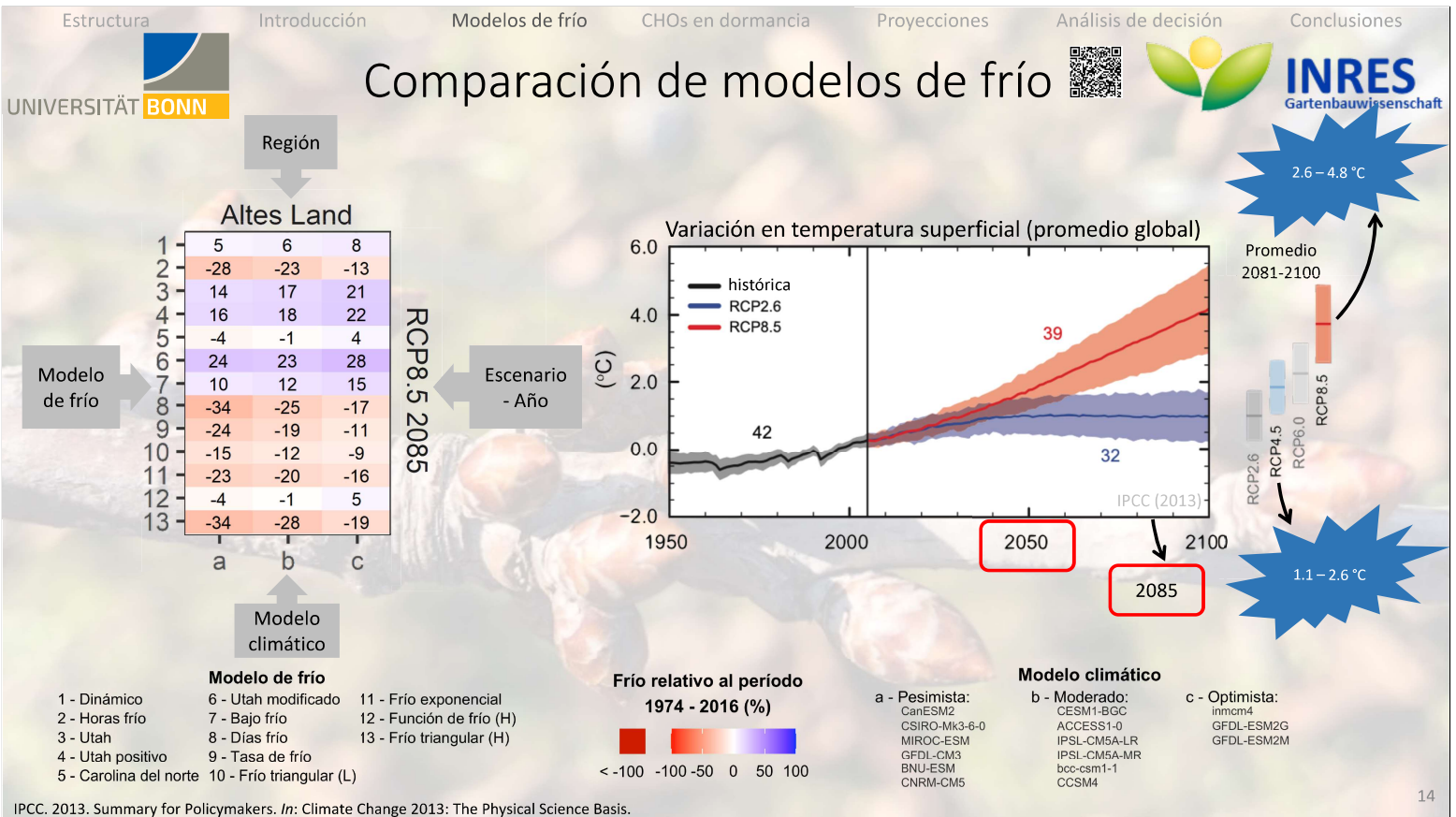
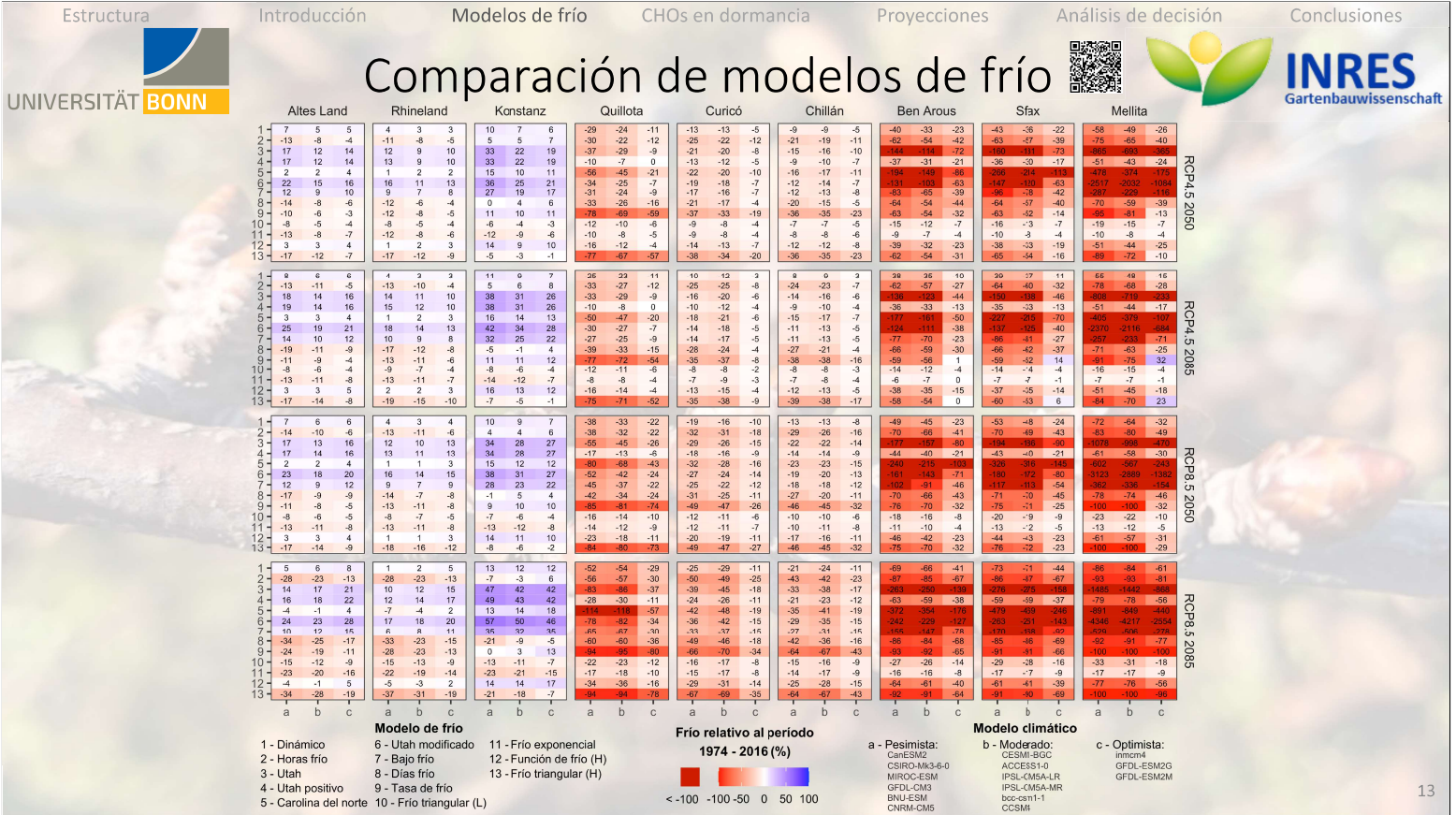
• Usamos 13 modelos de frío en este estudio

➤ 10 modelos agrícolas

➤ 2 modelos forestales

➤ 1 modelo usado en ambas áreas







Comparación de modelos de frío



INRES
Gartenbauwissenschaft

	Altes Land	Rhineland	Konstanz	Quillota	Curicó	Chillán	Ben Arous	Sfax	Mellita
1	7 5 5	4 3 3	10 7 7	-29 -24 -11	-13 -13 -3	-9 -9 -5	-40 -33 -23	-43 -36 -22	-58 -49 -26
2	-13 -8 -4	-13 -10 -4	4 4 6	-38 -32 -22	-21 -20 -3	-15 -16 -10	-144 -114 -72	-160 -131 -73	-666 -663 -666
3	17 12 14	12 9 10	33 22 19	-10 -7 0	-13 -12 -5	-9 -10 -7	-37 -31 -21	-36 -30 -17	-51 -43 -24
4	17 12 14	13 9 10	33 22 19	-10 -7 0	-13 -12 -5	-9 -10 -7	-37 -31 -21	-36 -30 -17	-51 -43 -24
5	2 2 4	1 2 2	15 10 11	-58 -45 -21	-22 -20 -10	-16 -17 -11	-184 -148 -98	-200 -171 -113	-478 -374 -238
6	22 15 16	16 11 13	36 25 21	-34 -25 -7	-19 -18 -7	-12 -14 -7	-147 -103 -63	-147 -120 -63	-517 -202 -104
7	12 9 10	9 7 8	27 19 17	-31 -24 -9	-17 -16 -7	-12 -13 -8	-83 -65 -39	-96 -78 -42	-287 -223 -116
8	-14 -8 -3	-12 -8 -5	11 10 11	-78 -69 -59	-37 -33 -19	-38 -35 -23	-63 -54 -32	-63 -52 -14	-95 -81 -13
9	-8 -5 -4	-8 -5 -4	-6 -4 -3	-12 -10 -6	-9 -8 -4	-7 -7 -5	-15 -12 -7	-16 -13 -7	-19 -15 -7
10	-13 -8 -7	-12 -8 -6	-19 -4 -3	-33 -26 -16	-21 -17 -4	-20 -15 -5	-64 -54 -44	-64 -57 -40	-70 -59 -39
11	3 3 4	1 2 3	14 9 10	-16 -12 -4	-8 -8 -4	-7 -8 -4	-14 -12 -4	-10 -8 -4	-10 -8 -4
12	3 3 4	1 2 3	14 9 10	-16 -12 -4	-8 -8 -4	-7 -8 -4	-14 -12 -4	-10 -8 -4	-10 -8 -4
13	-17 -12 -7	-17 -12 -9	-5 -3 -1	-77 -67 -57	-38 -34 -20	-36 -35 -23	-62 -54 -31	-65 -54 -16	-89 -72 -10

	a	b	c
1	-22	-19	-20
2	-20	-21	-20
3	-20	-20	-22
4	-19	-20	-21
5	-20	-22	-20
6	-21	-19	-19
7	-17	-20	-19
8	-17	-21	-19
9	-20	-19	-20
10	-20	-20	-20
11	-20	-20	-19
12	-19	-20	-21
13	-20	-20	-21

	Modelo de frío	Frio relativo al periodo 1974 - 2016 (%)	Modelo climático
1 - Dinámico	6 - Utah modificado		a - Pesimista: CanESM2, CSIRO-Mk3-5.0, MIROC-ESM, GFDL-CM3, BNU-ESM, CNRM-CMS
2 - Horas frío	7 - Bajo frío		b - Moderado: CESM1-BGC, ACCESS1-0, IPSL-CM5A-LR, IPSL-CM5A-MR, InmCM4, CCSM4
3 - Utah	8 - Dias frío		c - Optimista: InmCM4, GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M
4 - Utah positivo	9 - Tasa de frío		
5 - Carolina del norte	10 - Frio triangular (L)		
	11 - Frio exponencial		
	12 - Función de frío (H)		
	13 - Frio triangular (H)		

	Df	Sum Sq	
Site	8	228274	46.5%
Scenario	3	3404	
Climate Model	14	2151	
Chill Model	12	256637	52.3%
Residuals	704302	229733	

➤ La mayor parte de la variación es explicada por el modelo de frío



Comparación de modelos de frío



INRES
Gartenbauwissenschaft

	Altes Land	Rhineland	Konstanz	Quillota	Curicó	Chillán	Ben Arous	Sfax	Mellita
1	7 5 5	4 3 3	10 7 7	-29 -24 -11	-13 -13 -3	-9 -9 -5	-40 -33 -23	-43 -36 -22	-58 -49 -26
2	-13 -8 -4	-13 -10 -4	4 4 6	-38 -32 -22	-21 -20 -3	-15 -16 -10	-144 -114 -72	-160 -131 -73	-666 -663 -666
3	17 12 14	12 9 10	33 22 19	-10 -7 0	-13 -12 -5	-9 -10 -7	-37 -31 -21	-36 -30 -17	-51 -43 -24
4	17 12 14	13 9 10	33 22 19	-10 -7 0	-13 -12 -5	-9 -10 -7	-37 -31 -21	-36 -30 -17	-51 -43 -24
5	2 2 4	1 2 2	15 10 11	-58 -45 -21	-22 -20 -10	-16 -17 -11	-184 -148 -98	-200 -171 -113	-478 -374 -238
6	22 15 16	16 11 13	36 25 21	-34 -25 -7	-19 -18 -7	-12 -14 -7	-147 -103 -63	-147 -120 -63	-517 -202 -104
7	12 9 10	9 7 8	27 19 17	-31 -24 -9	-17 -16 -7	-12 -13 -8	-83 -65 -39	-96 -78 -42	-287 -223 -116
8	-14 -8 -3	-12 -8 -5	11 10 11	-78 -69 -59	-37 -33 -19	-38 -35 -23	-63 -54 -32	-63 -52 -14	-95 -81 -13
9	-8 -5 -4	-8 -5 -4	-6 -4 -3	-12 -10 -6	-9 -8 -4	-7 -7 -5	-15 -12 -7	-16 -13 -7	-19 -15 -7
10	-13 -8 -7	-12 -8 -6	-19 -4 -3	-33 -26 -16	-21 -17 -4	-20 -15 -5	-64 -54 -44	-64 -57 -40	-70 -59 -39
11	3 3 4	1 2 3	14 9 10	-16 -12 -4	-8 -8 -4	-7 -8 -4	-14 -12 -4	-10 -8 -4	-10 -8 -4
12	3 3 4	1 2 3	14 9 10	-16 -12 -4	-8 -8 -4	-7 -8 -4	-14 -12 -4	-10 -8 -4	-10 -8 -4
13	-17 -12 -7	-17 -12 -9	-5 -3 -1	-77 -67 -57	-38 -34 -20	-36 -35 -23	-62 -54 -31	-65 -54 -16	-89 -72 -10



	Modelo de frío	Frio relativo al periodo 1974 - 2016 (%)	Modelo climático
1 - Dinámico	6 - Utah modificado		a - Pesimista: CanESM2, CSIRO-Mk3-5.0, MIROC-ESM, GFDL-CM3, BNU-ESM, CNRM-CMS
2 - Horas frío	7 - Bajo frío		b - Moderado: CESM1-BGC, ACCESS1-0, IPSL-CM5A-LR, IPSL-CM5A-MR, InmCM4, CCSM4
3 - Utah	8 - Dias frío		c - Optimista: InmCM4, GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M
4 - Utah positivo	9 - Tasa de frío		
5 - Carolina del norte	10 - Frio triangular (L)		
	11 - Frio exponencial		
	12 - Función de frío (H)		
	13 - Frio triangular (H)		

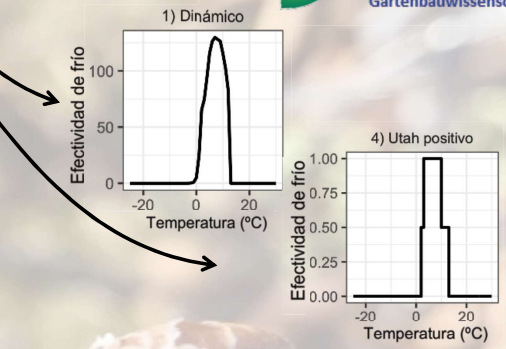
➤ Algunos modelos fallan en regiones donde especies caducifolias aún son cultivadas



'Mateur' pistachios in Tunisia © Photo taken by Hafsa Benmussa in 2016

Comparación de modelos de frío

	Altes Land	Rhineland	Konstanz	Quillota	Curicó	Chillán	Ben Arous	Sfax	Mellita
1	7 5 5	4 3 3	10 7 6	-29 -24 -11	-13 -13 -5	-9 -9 -5	-40 -33 -23	-43 -36 -22	-58 -49 -26
2	-13 -8 -4	-11 -8 -5	4 5 7	-30 -22 -12	-25 -25 -8	-21 -19 -11	-144 -114 -72	-160 -131 -73	-176 -95 -49
3	17 12 14	12 9 10	33 22 19	-37 -29 -9	-21 -20 8	-15 -16 -10	-131 -103 -63	-147 -120 -63	-165 -99 -36
4	17 12 14	13 9 10	33 22 19	-10 -7 0	-13 -12 -5	-9 -10 -7	-37 -31 -21	-36 -30 -17	-51 -43 -24
5	2 2 4	1 2 2	15 10 11	-86 -65 -21	-22 -20 -10	-16 -17 -11	-194 -149 -86	-280 -214 -113	-478 -374 -175
6	22 15 16	16 11 13	36 25 21	34 -25 -7	-19 -18 -7	-12 -14 -7	-131 -103 -63	-147 -120 -63	-217 -202 -104
7	12 9 10	9 7 8	27 19 17	-31 -24 -9	-17 -16 -7	-12 -13 -8	-63 -45 -39	-96 -78 -42	-287 -229 -116
8	-14 8 4	-12 8 -5	11 10 11	-22 -20 -10	-16 -17 -11	-12 -14 -7	-131 -103 -63	-147 -120 -63	-217 -202 -104
9	-10 -6 -3	-12 -8 -5	11 10 11	31 -24 -9	-17 -16 -7	-12 -13 -8	-63 -45 -39	-96 -78 -42	-287 -229 -116
10	-8 -5 -4	-8 -5 -4	-6 -4 -3	-12 -10 -6	-9 -8 -4	-7 -7 -5	-15 -12 -7	-16 -13 -7	-19 -15 -7
11	-13 -8 -7	-12 -8 -6	-12 -9 -6	-10 -8 -5	-9 -8 -4	-8 -7 -5	-19 -7 -4	-10 -8 -4	-10 -8 -4
12	3 3 4	1 2 3	14 9 10	-16 -12 -4	-14 -13 -7	-12 -12 -8	-38 -32 -23	-38 -33 -19	-51 -44 -25
13	-17 -12 -7	-17 -12 -9	-5 -3 -1	-77 -67 -57	-38 -34 -20	-36 -35 -23	-62 -54 -31	-65 -54 -18	-89 -72 -10
1	8 6 6	4 3 3	11 9 7	-25 -23 -11	-10 -12 -3	-8 -9 -3	-38 -35 -10	-39 -37 -11	-55 -48 -15
2	-13 -11 -5	-13 -10 -4	5 6 8	-33 -27 -12	-25 -25 -8	-24 -23 -7	-62 -57 -27	-64 -60 -32	-78 -68 -28
3	18 14 16	14 10 12	38 31 26	-38 -33 -22	-16 -16 -9	-14 -16 -6	-138 -123 -66	-150 -135 -66	-209 -179 -233
4	19 14 16	15 12 10	38 31 26	-10 -8 0	-10 -12 -4	-9 -10 -4	-36 -33 -13	-35 -33 -13	-51 -44 -17
5	3 3 4	1 2 3	16 14 13	-50 -47 -20	-18 -21 -6	-15 -17 -7	-177 -161 -50	-227 -215 -70	-405 -379 -107
6	25 19 21	18 14 13	42 34 28	-30 -27 -7	-14 -18 -6	-11 -13 -5	-124 -111 -38	-137 -125 -40	-2370 -2116 -684
7	14 10 12	10 9 8	32 25 22	-27 -25 -9	-14 -17 -6	-11 -13 -5	-77 -70 -23	-86 -81 -27	-257 -233 -71
8	-19 -11 -9	-17 -12 -8	-5 -1 -4	-39 -33 -15	-28 -24 -4	-27 -21 -4	-66 -59 -30	-66 -62 -37	-71 -63 -25
9	-11 -9 -4	-13 -11 -6	11 11 12	-77 -72 -54	-35 -37 -8	-38 -38 -16	-59 -56 1	-59 -52 14	-81 -76 32
10	-8 -6 -4	-9 -7 -4	-8 -6 -4	-12 -11 -6	-8 -9 -2	-8 -8 -3	-14 -12 -4	-14 -14 -4	-16 -15 -4
11	-13 -11 -8	-13 -11 -7	-14 -12 -7	-8 -8 -4	-7 -9 -3	-7 -8 -4	-6 -7 0	-7 -7 -1	-7 -7 -1
12	3 3 5	2 2 3	16 13 12	-16 -14 -4	-13 -15 -4	-12 -13 -5	-38 -35 -15	-37 -35 -14	-51 -45 -18
13	-17 -14 -8	-18 -15 -10	-7 -5 -1	-75 -71 -52	-35 -38 -2	-39 -38 -17	-58 -54 0	-60 -53 6	-84 -70 23
1	7 6 6	4 3 4	10 9 7	-38 -33 -22	-19 -16 -10	-13 -13 -8	-49 -45 -23	-53 -48 -24	-72 -64 -32
2	-14 -10 -6	-13 -11 -6	4 4 6	-38 -33 -22	-32 -31 -18	-29 -28 -16	-70 -66 -41	-70 -69 -43	-93 -90 -49
3	17 13 16	12 10 13	34 28 27	-55 -45 -26	-29 -26 -15	-22 -22 -14	-177 -157 -80	-194 -186 -90	-1078 -998 -470
4	17 14 16	13 11 13	34 28 27	-17 -13 -6	-18 -16 -9	-14 -14 -9	-44 -40 -21	-43 -40 -21	-61 -58 -30
5	23 18 20	16 14 15	19 14 12	-90 -88 -43	-49 -47 -26	-46 -45 -32	-240 -219 -103	-249 -219 -106	-364 -321 -243
6	12 9 12	9 7 9	28 23 22	-52 -42 -24	-27 -24 -14	-19 -20 -13	-161 -143 -71	-180 -172 -63	-3123 -2889 -1362
7	-17 -9 -9	-14 -7 -8	-1 5 4	-42 -34 -24	-31 -25 -11	-27 -20 -11	-70 -66 -43	-71 -70 -45	-78 -74 -46
8	-11 -8 -5	-13 -11 -8	9 10 10	-85 -81 -74	-49 -47 -26	-46 -45 -32	-78 -70 -32	-75 -71 -26	-100 -100 -32
9	-8 -6 -5	-8 -7 -5	-7 -6 -4	-16 -14 -10	-12 -11 -6	-10 -10 -6	-18 -16 -8	-20 -19 -9	-23 -22 -10
10	-13 -11 -8	-13 -11 -8	-13 -12 -8	-14 -12 -9	-12 -11 -7	-10 -11 -8	-11 -10 -4	-13 -12 -5	-13 -12 -5
11	3 3 4	1 1 3	14 11 10	-23 -18 -11	-20 -19 -11	-17 -16 -11	-46 -42 -23	-44 -43 -23	-61 -57 -31
12	-17 -14 -8	-18 -16 -12	-8 -6 -2	-84 -80 -73	-49 -47 -27	-46 -45 -32	-75 -70 -32	-76 -72 -23	-100 -100 -29
1	5 6 8	1 2 5	13 12 12	-52 -54 -29	-25 -29 -11	-21 -24 -11	-69 -66 -41	-73 -71 -44	-86 -84 -61
2	-28 -23 -13	-28 -23 -13	7 -3 6	-56 -57 -30	-50 -49 -25	-43 -42 -23	-87 -85 -67	-86 -87 -67	-93 -93 -81
3	14 17 21	10 12 15	47 42 42	-85 -86 -37	-39 -45 -18	-33 -38 -17	-263 -250 -139	-276 -275 -158	-1485 -1442 -868
4	16 18 22	12 14 17	48 43 42	-28 -30 -11	-24 -26 -11	-21 -23 -12	-63 -59 -36	-59 -59 -37	-79 -76 -56
5	-4 -1 4	7 -4 2	13 14 18	-114 -118 -57	-42 -48 -19	-35 -41 -19	-372 -354 -176	-479 -469 -246	-891 -840 -440
6	24 23 28	17 18 20	57 50 46	-78 -82 -34	-36 -42 -15	-29 -35 -15	-242 -229 -127	-263 -261 -143	-4346 -4217 -2554
7	16 13 16	6 8 11	32 36	-86 -87 -38	-36 -42 -15	-27 -31 -16	-146 -147 -78	-170 -168 -93	-329 -326 -278
8	-34 -25 -17	-33 -23 -15	-21 -9 -5	-86 -80 -36	-49 -46 -18	-42 -36 -16	-86 -84 -68	-85 -86 -69	-92 -91 -77
9	-24 -19 -11	-28 -23 -13	0 3 13	-94 -95 -80	-66 -70 -34	-64 -67 -43	-93 -92 -65	-91 -91 -66	-100 -100 -100
10	-15 -12 -9	-15 -13 -9	-13 -11 -7	-22 -23 -12	-16 -17 -6	-15 -16 -9	-27 -26 -14	-29 -28 -16	-33 -31 -4
11	-23 -20 -16	-22 -19 -14	-23 -21 13	-19 -18 -10	-15 -17 -8	-14 -17 -9	-16 -16 -8	-17 -17 -9	-17 -17 -9
12	-4 -1 5	-5 -3 2	14 14 17	-34 -36 -16	-29 -31 -14	-25 -28 -15	-64 -61 -40	-61 -61 -39	-77 -76 -56
13	-34 -28 -19	-37 -31 -19	-21 -18 -7	-94 -94 -78	-57 -59 -35	-61 -67 -43	-92 -91 -64	-91 -90 -69	-100 -100 -86



- Los modelos dinámico y Utah positivo muestran un comportamiento similar entre sitios y escenarios
- El modelo dinámico sería la mejor opción basado en su mayor enfoque biológico comparado con otras opciones

Modelo de frío

- Dinámico
- Horas frío
- Utah
- Utah positivo
- Carolina del norte
- Utah modificado
- Bajo frío
- Días frío
- Tasa de frío
- Frio triangular (L)
- Frio exponencial
- Función de frío (H)
- Frio triangular (H)

Frio relativo al periodo 1974 - 2016 (%)

Legend: <math> < -100 < -100 < -50 < 0 < 50 < 100 < </math>

Modelo climático

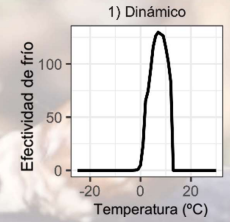
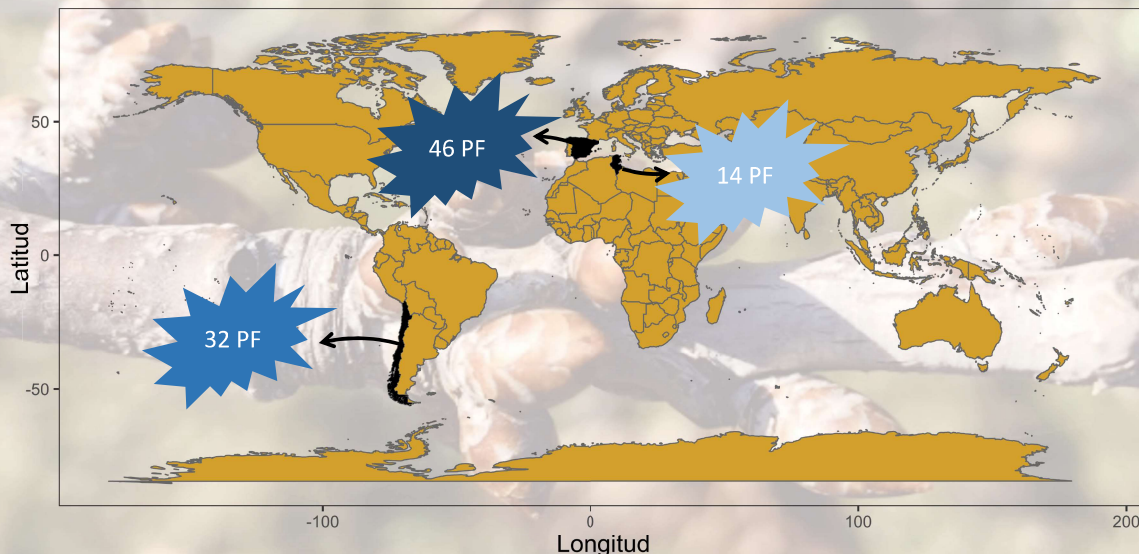
a - Pesimista: CanESM2, CSIRO-Mk3.6-0, MIROC-ESM, GFDL-CM3, BNU-ESM, CNRM-CM5

b - Moderado: CESM1-BGC, ACCESS1-0, IPSL-CM5A-LR, GFDL-CM5A-MR, bccr-csm1-1, CCSM4

c - Optimista: Inmcm4, GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M

Problemas de los modelos de frío

- Estimaciones de RF difieren ampliamente entre regiones incluso para la misma especie y variedad (Egea et al. 2003; Ramirez et al. 2010; Benmoussa et al. 2017)



Benmoussa, H., Ghrab, M., Ben Mimoun, M., and Luedeling, E. 2017. Agric. For. Meteorol. 239, 34-46
 Egea, J., Ortega, E., Martinez-Gomez, P., and Dicenta, F. 2003. Environ. Exp. Bot. 50(1), 79-85
 Ramirez, L., Sagredo, K.X., and Reginato, G.H. 2010. Acta Hortic. 872, 107-112

Problemas de los modelos de frío

- Los modelos de frío disponibles no incluyen parámetros fisiológicos relacionados con la progresión de la dormancia (Campoy et al. 2011; Luedeling 2012)

Trees (2019) 33:1187–1201
<https://doi.org/10.1007/s00468-019-01855-0>

ORIGINAL ARTICLE



Starch and hexoses concentrations as physiological markers in dormancy progression of sweet cherry twigs

Eduardo Fernandez^{1,2} · Italo F. Cuneo² · Eike Luedeling¹ · Laureano Alvarado² · Daniela Farias² · Sebastian Saa²

- Estimar el RF y el momento de brotación en función de la dinámica de carbohidratos cuantificados durante endo-dormancia profunda y salida de endo-dormancia

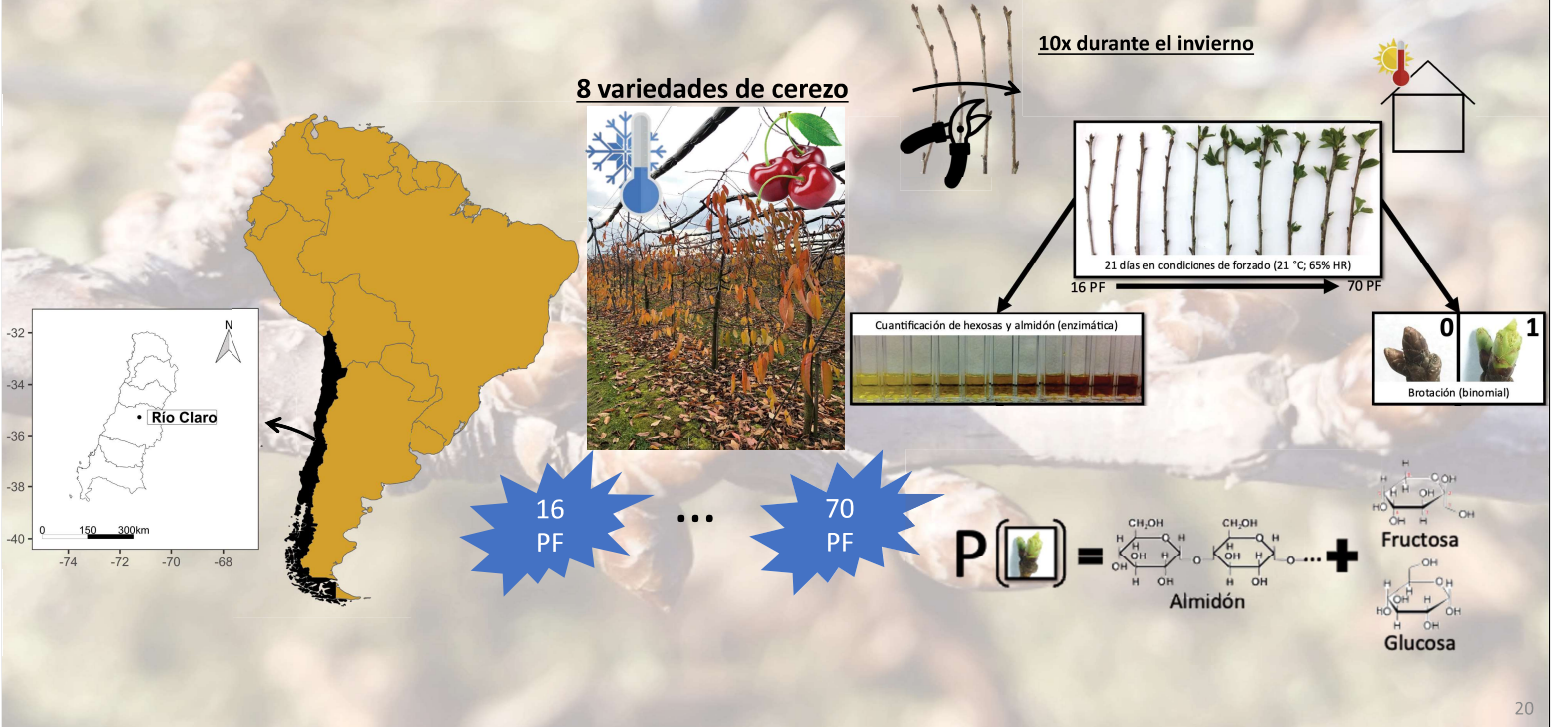
Campoy, J.A., Ruiz, D., and Egea, J. 2011. Sci. Hortic. 130, 357-372

Fernandez, E., Cuneo, I.F., Luedeling, E., Alvarado, L., Faria, D., and Saa, S. 2019. Trees 33, 1187-1201

Luedeling, E. 2012. Sci. Hortic. 144, 218-229

19

Fisiología de la dormancia

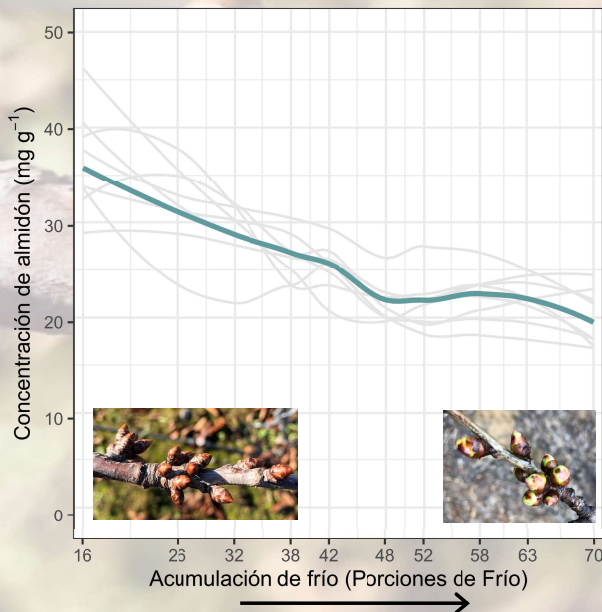


20

CHOs como marcadores fisiológicos



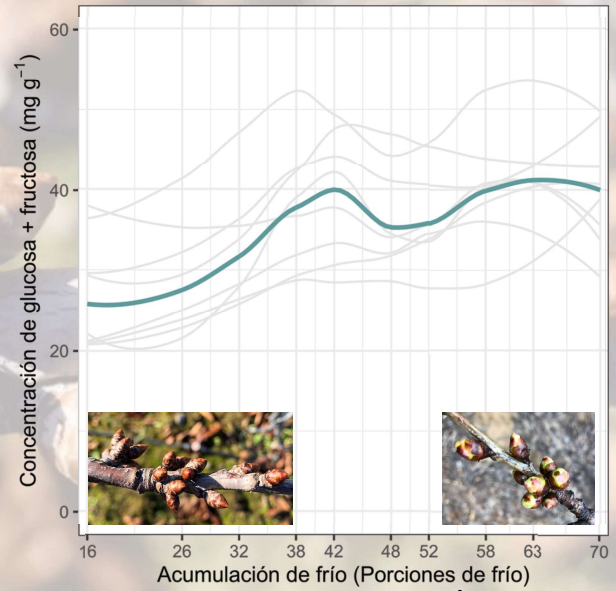
- **Almidón fue asociado con dormancia profunda mientras que hexosas fueron asociadas con la salida de la dormancia**



Variedad

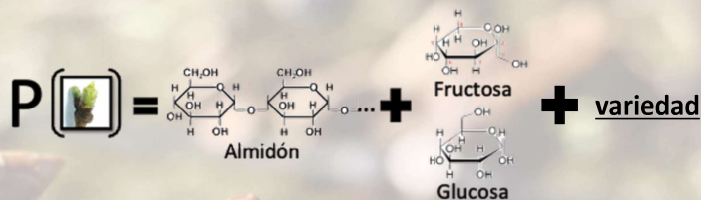
— Bing
— Kordia
— Lapins
— Rainier
— Regina
— Santina
— Skeena
— Sweetheart

— Mediana



21

CHOs como marcadores fisiológicos



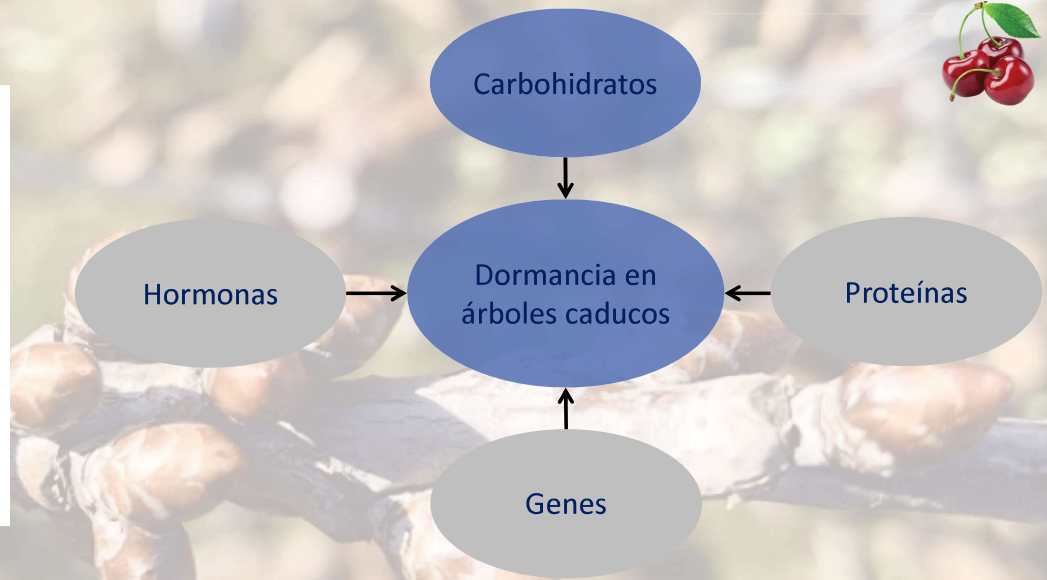
Coefficients	2.5% CI	Fitted by model	97.5% CI
<i>a</i> (intercept)	-7.0155	-2.5386	1.7797
<i>b</i> (hexoses)	0.1323	0.2252	0.3354
<i>c</i> (starch)	➤ Coefficiente positivo para hexosas	➔ mayor probabilidad de brotación	
<i>d</i> (Kordia)	➤ Coefficiente negativo para almidón	➔ menor probabilidad de brotación	
<i>d</i> (Lapins)	0.0614	2.0081	4.0894
<i>d</i> (Rainier)	-0.0730	2.1844	4.6712
<i>d</i> (Regina)	-0.1766	1.9534	4.2163
<i>d</i> (Santina)	-6.4313	-4.1352	-2.1270
<i>d</i> (Skeena)	-3.5120	-1.6011	0.1992
<i>d</i> (Sweetheart)	-2.4521	-0.3616	1.7378

22

CHOs como marcadores fisiológicos



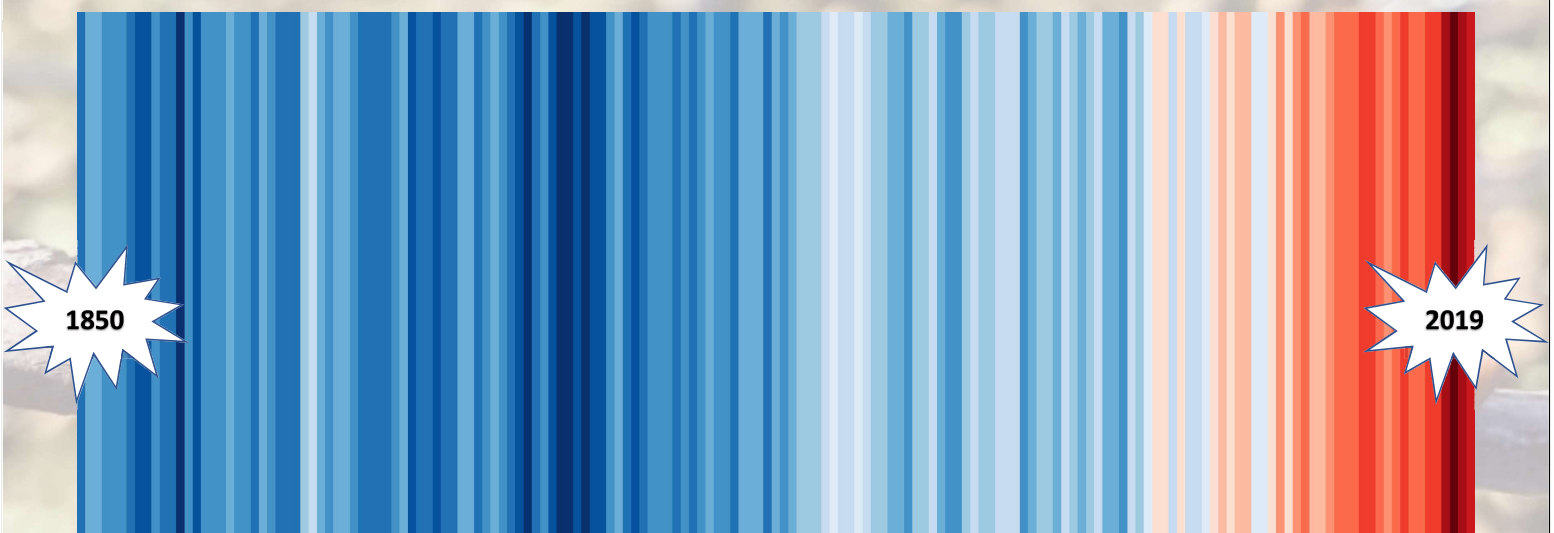
Variety	Predicted probability*
Skeena	0.88
Rainier	0.87
Lapins	0.77
Santina	0.76
Regina	0.71
Bing	0.67
Kordia	0.64
Sweetheart	0.49



- Modelos integrales basados en el proceso pueden mejorar sustancialmente las estimaciones de acumulación de frío especialmente en un contexto de cambio climático

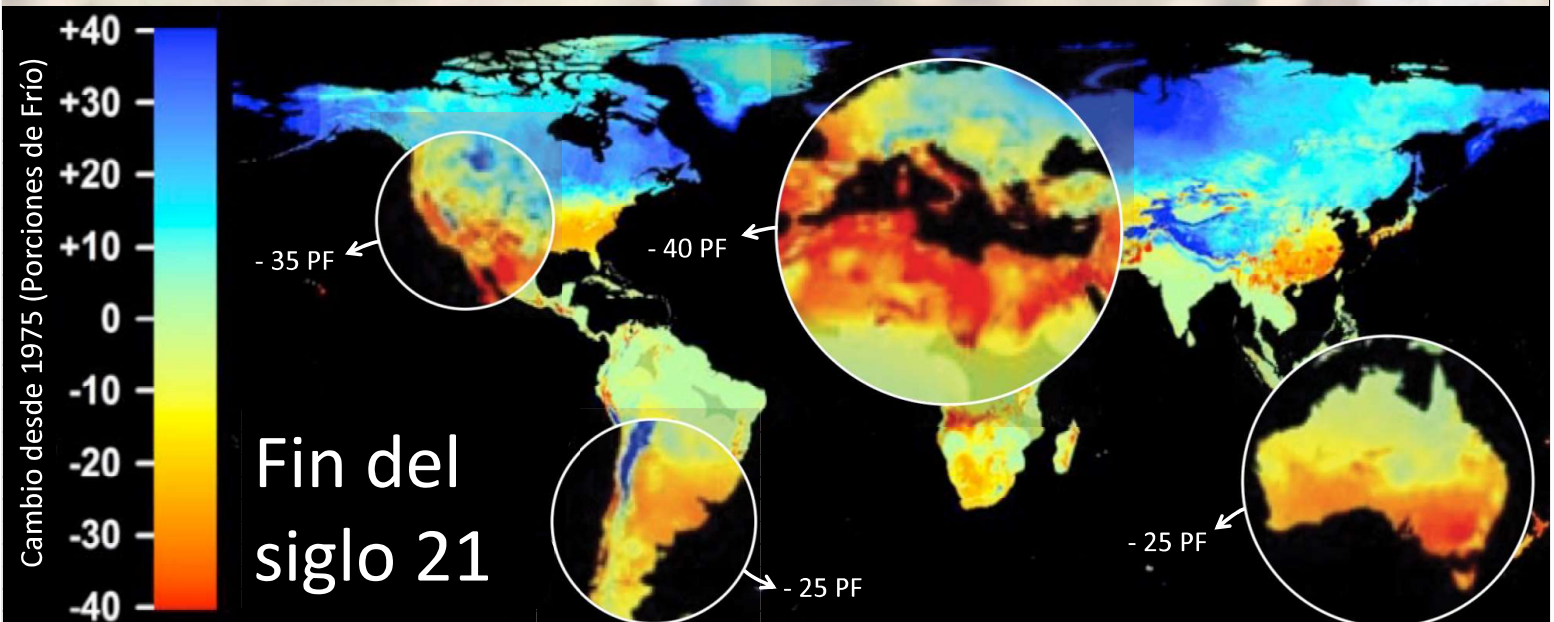
* La probabilidad se estimó con los parámetros ajustados por el modelo y las concentraciones medias de almidón y hexosas en tejido leñoso de cerezo

Calentamiento global



+1 °C hasta 2017 comparado con niveles pre-industriales (rango probable entre 0.8 y 1.2 °C)

Proyecciones de frío



Luedeling, E., Girvetz, E.H., Semenov, M.A., and Brown, P.H. 2011. *Plos ONE* 6(5), e20155

25

Calentamiento global y dormancia

- Niveles insuficientes de frío invernal pueden afectar la brotación y posiblemente el rendimiento potencial (Lavee and May 1997; Erez 2000)



➤ Floración retrasada e irregular



➤ Caída de yemas en casos extremos

Proyecciones de frío actualizadas

- Conocer los niveles de frío para el futuro es crítico en la planificación y el manejo de huertos de frutales caducos (Campoy et al. 2011; Luedeling 2012)

Climatic Change (2020) 159:423–439
<https://doi.org/10.1007/s10584-019-02608-1>



Prospects of decreasing winter chill for deciduous fruit production in Chile throughout the 21st century

Eduardo Fernandez¹  · Cory Whitney¹ · Italo F. Cuneo² · Eike Luedeling¹



- **Entregar un análisis local sobre los posibles impactos del cambio climático en árboles frutales caducifolios y proyectar niveles de frío para el futuro usando métodos actualizados**

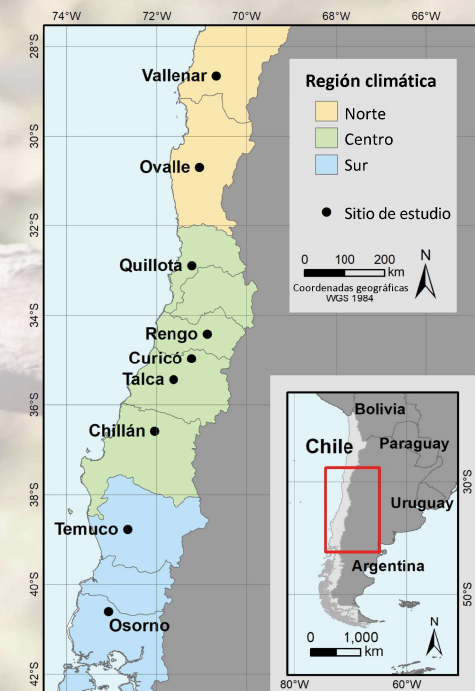
Campoy, J.A., Ruiz, D., and Egea, J. 2011. Sci. Hortic. 130, 357-372

Fernandez, E., Whitney, C., Cuneo, I.F., and Luedeling, E. 2020. Clim. Change 159, 423-439

Luedeling, E. 2012. Sci. Hortic. 144, 218-229

27

Selección de los sitios y escenarios



- Datos climáticos 1967 – 2017

- Generamos datos para 100 temporadas usando 51 escenarios históricos y 60 escenarios futuros

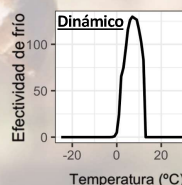
Todos los años

RCP4.5 y RCP8.5

2050 y 2085

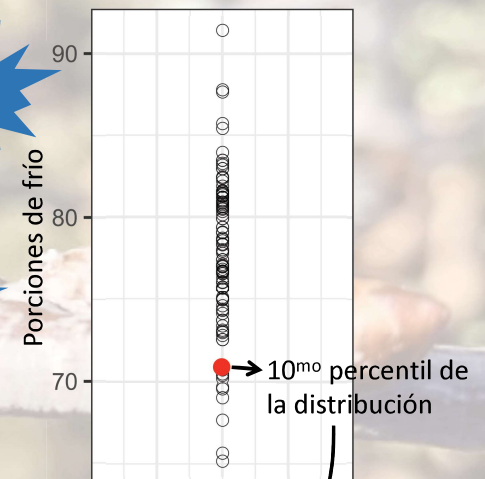
15 modelos climáticos

- Calculamos acumulación de frío para escenarios históricos y futuros



Frío de seguridad

(Luedeling et al. 2009)



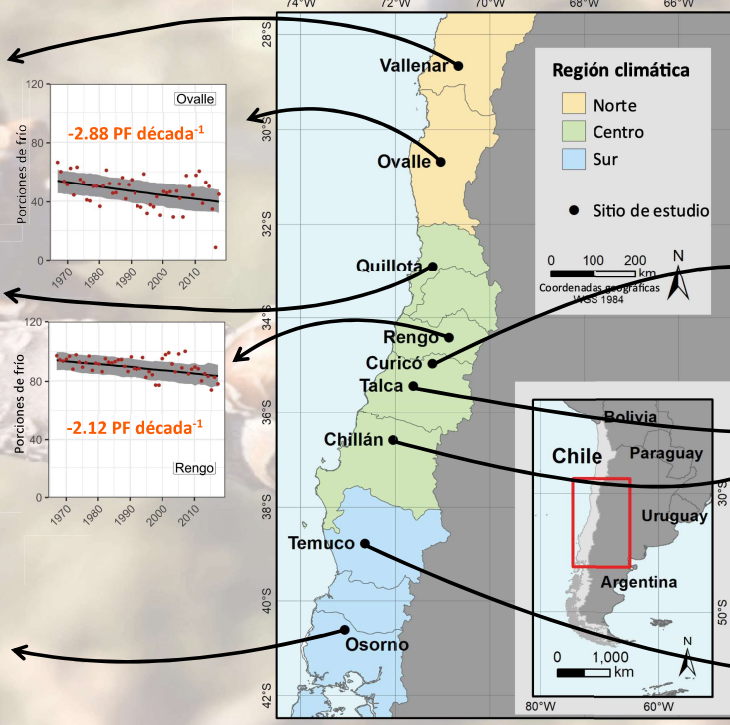
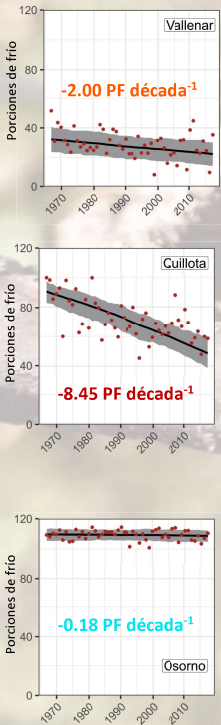
10^{mo} percentil de la distribución

90% de los años

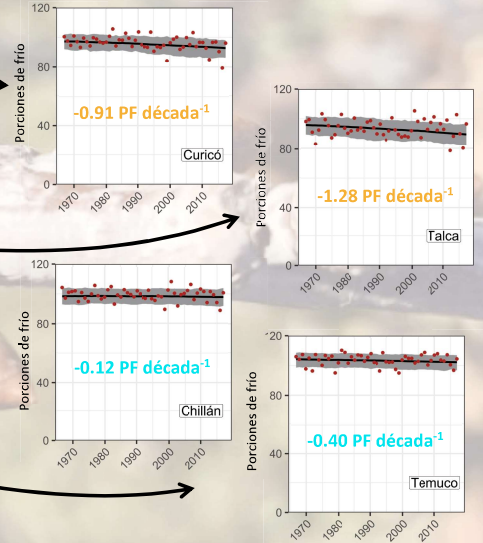
Luedeling, E., Zhang, M.H., and Girtvez, E.H. 2009. Plos ONE 4(7), 9

28

Variación de frío histórica



➤ **Quillota (en el centro-norte de Chile) fue el lugar más afectado por el cambio climático respecto de la acumulación de frío**



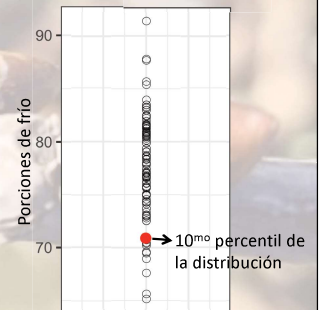
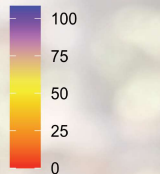
Proyecciones para el futuro



➤ **Reducciones de frío relevantes pueden poner en riesgo el cultivo de especies de clima templado en Chile**



Frió de seguridad (PF)



El lado socio-económico de PASIT

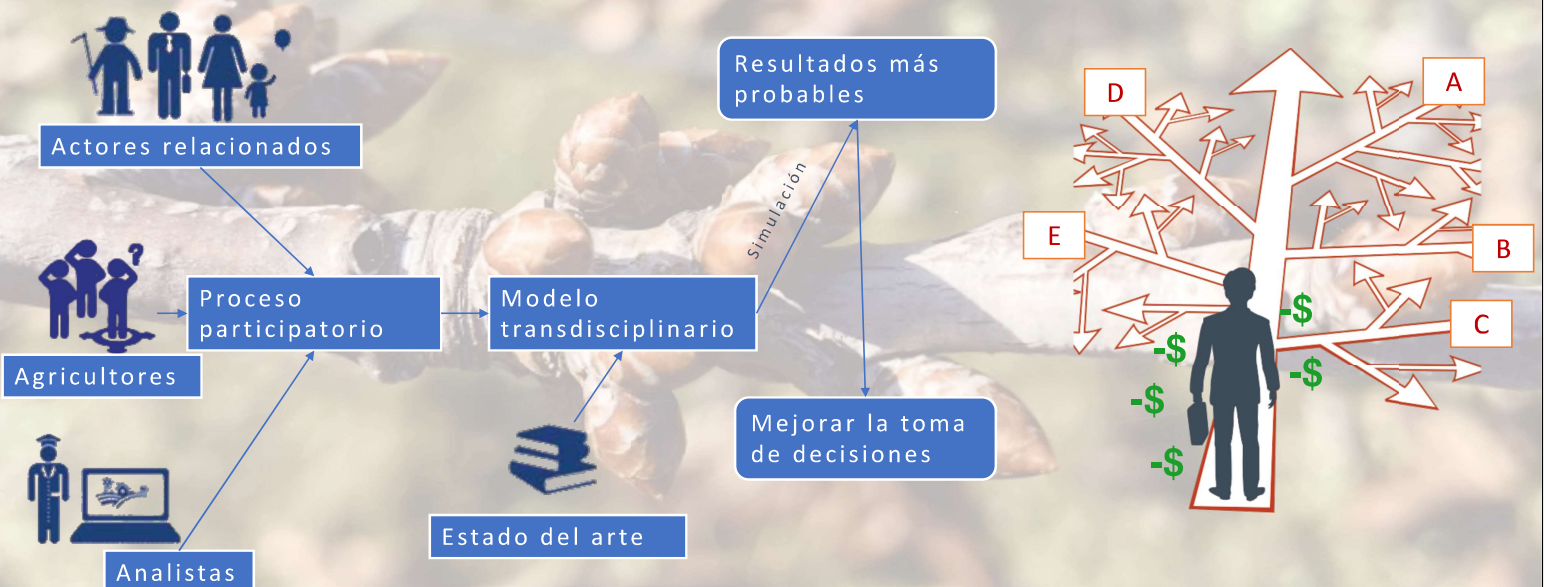
- Phenological And **Social** Impacts of Temperature increase: climatic consequences for fruit production in Tunisia, Chile and Germany (PASIT)

Centro norte de Chile (Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins)	Centro sur de Chile (Bío-Bío y Ñuble)
1.- Sequía	1.- <u>Eventos de heladas</u>
2.- <u>Eventos de heladas</u>	2.- <u>Lluvias de pre-cosecha</u>
3.- Variedades no adaptadas al clima	3.- Sequía
4.- <u>Variabilidad climática</u>	4.- Falta de polinizadores
5.- <u>Lluvias primaverales</u>	5.- Plagas



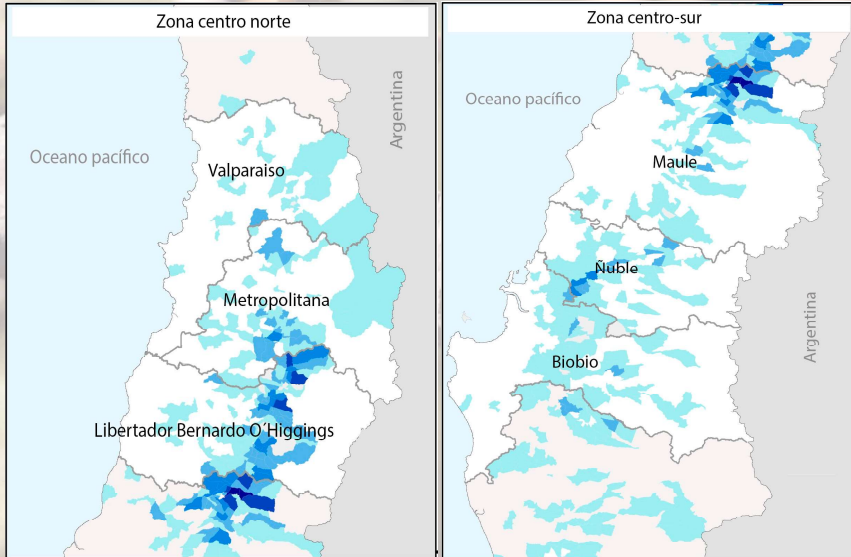
El lado socio-económico de PASIT

- Como muchas decisiones de inversión, hay diversas incertidumbres involucradas



El lado socio-económico de PASIT

- Workshop con expertos para identificar variables, riesgos e incertidumbres asociadas a la decisión de implementar cubiertas

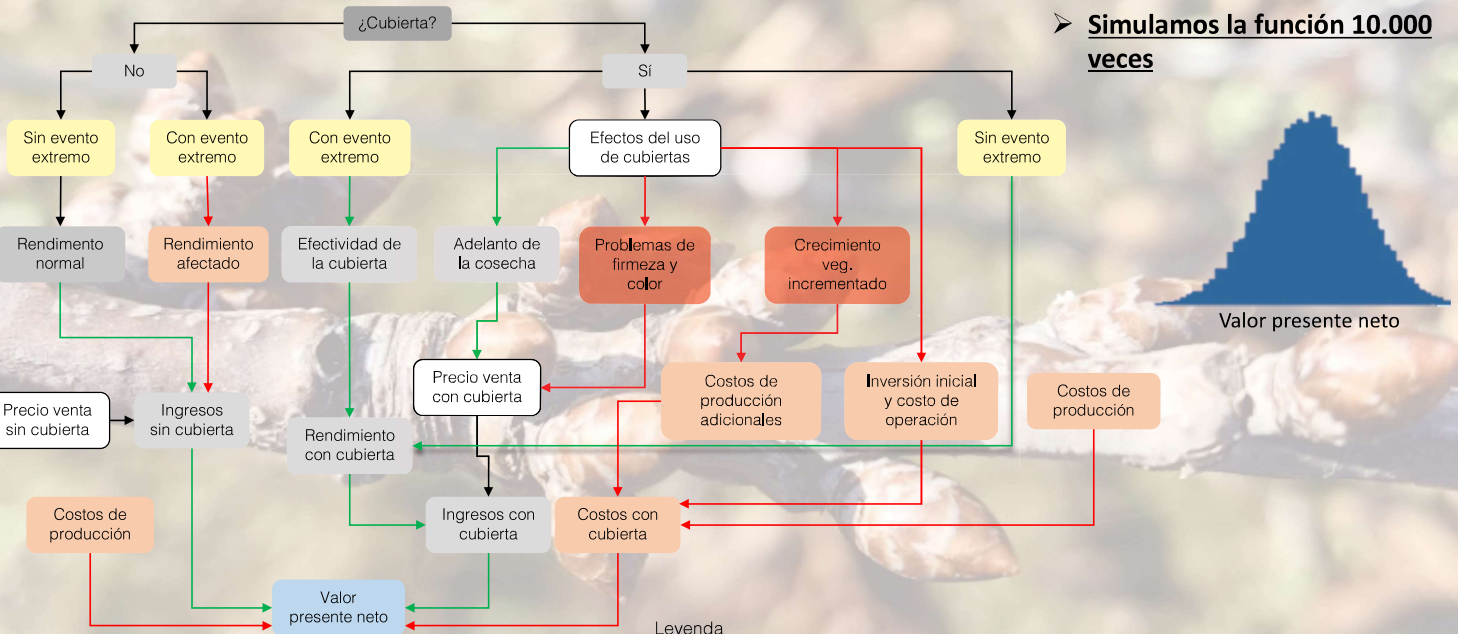


Expertos trabajando en identificar las principales variables que afectan la decisión

El lado socio-económico de PASIT



➤ **Simulamos la función 10.000 veces**

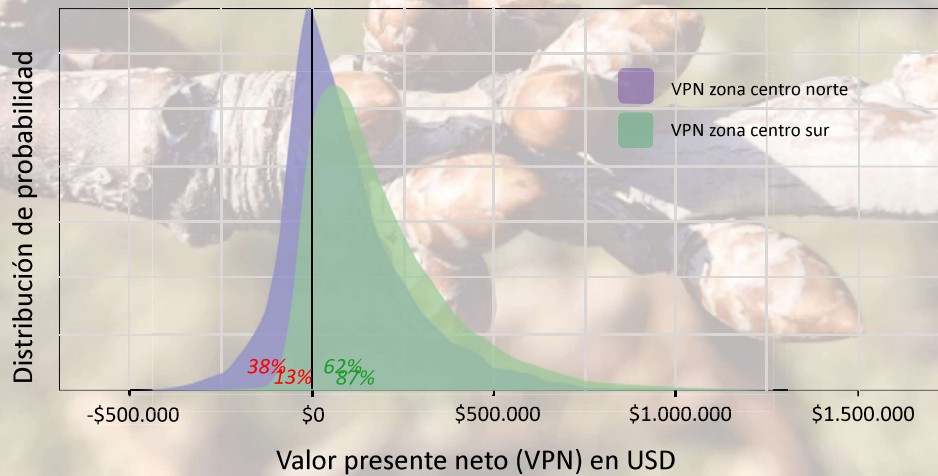


Valor Presente Neto = f(...)

- Legenda
- Decisión
 - Opción para la decisión
 - Costos
 - Evento riesgoso
 - Beneficios
 - Variable final
 - Elemento negativo
 - Variable general
 - ➔ Efecto positivo
 - ➔ Efecto negativo
 - ➔ Efecto neutro

El lado socio-económico de PASIT

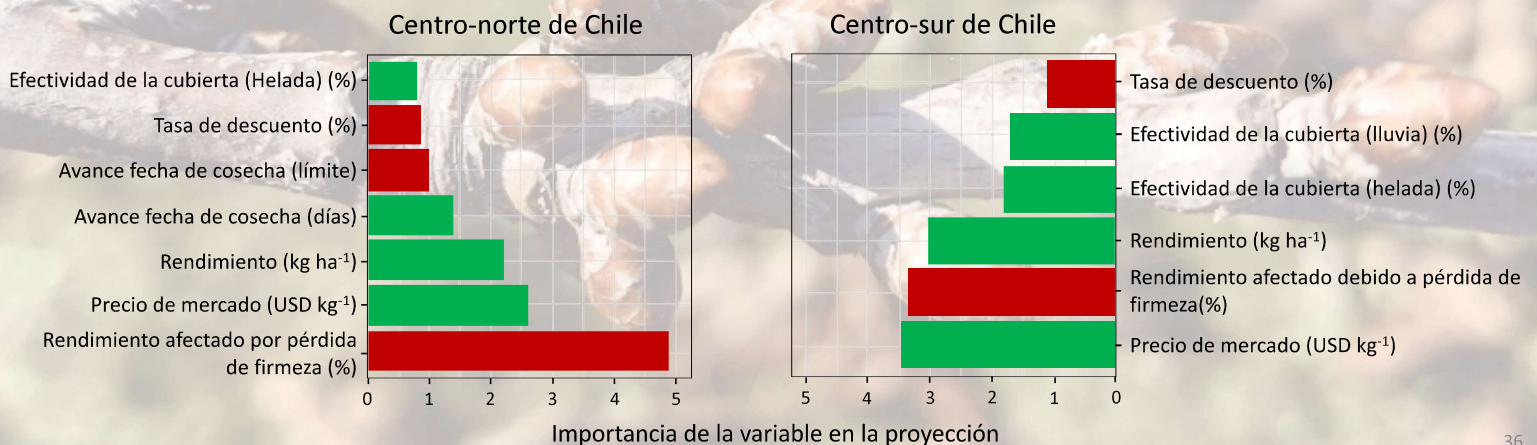
- **38% de probabilidad de tener retornos negativos al final del proyecto en la zona centro norte (62% para retornos positivos)**
- **13% de probabilidad de tener retornos negativos al final del proyecto en la zona centro sur (87% para retornos positivos)**



35

El lado socio-económico de PASIT

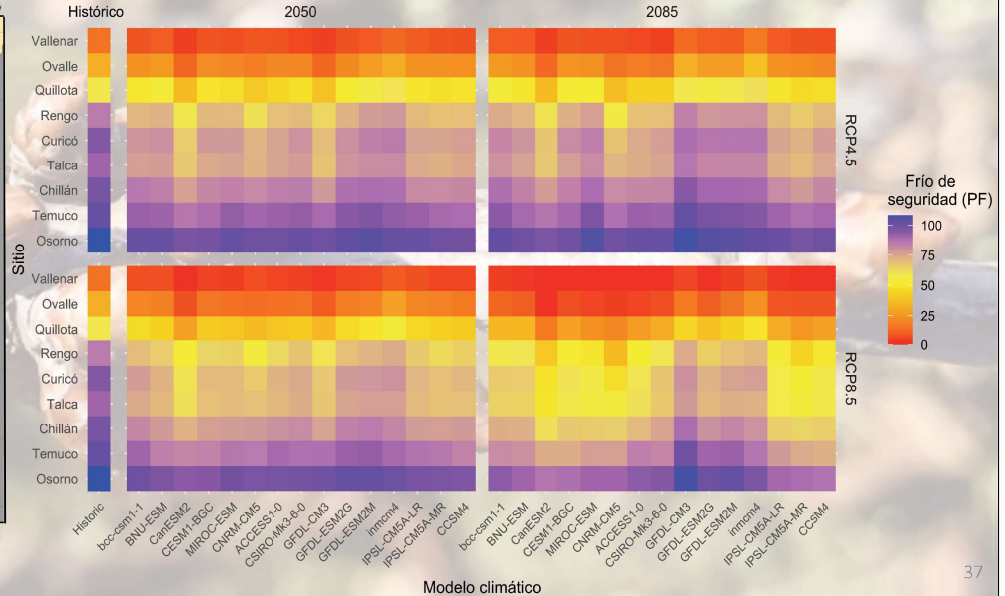
- **Problemas de firmeza, precio de mercado y rendimiento fueron las variables más importantes en ambas regiones**
- **La efectividad de la cubierta para proteger el cultivo aparece como una variable clave en la zona centro-sur debido a mayor probabilidad de lluvias primaverales y bajas temperaturas**



36

Conclusiones

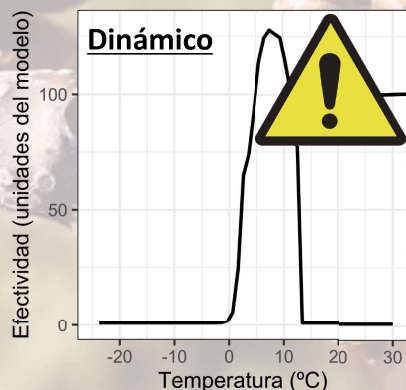
- 1) Con alta probabilidad, áreas con clima Mediterráneo enfrentarán problemas importantes en el futuro cercano para romper la dormancia en árboles caducos



37

Conclusiones

- 1) Con alta probabilidad, áreas con clima Mediterráneo enfrentarán problemas importantes en el futuro cercano para romper la dormancia en árboles caducos
- 2) Los modelos de frío actualmente disponibles han demostrado ser inadecuados especialmente en climas con inviernos cálidos



- Se necesita una herramienta "amigable" para promover su uso
- Se necesita una re-parametrización especie-específica

➤ **Necesitamos desarrollar mejores modelos!**

38

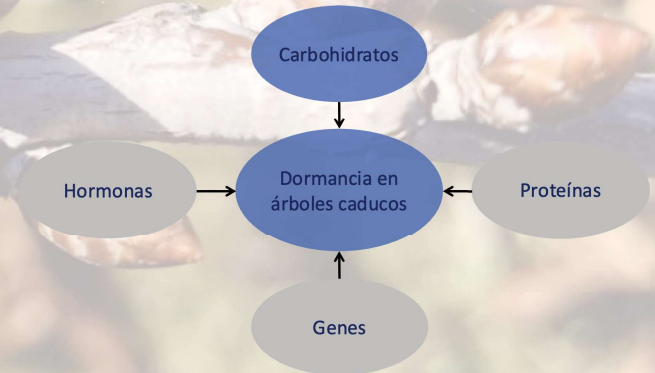
Conclusiones

- 1) Con alta probabilidad, áreas con clima Mediterráneo enfrentarán problemas importantes en el futuro cercano para romper la dormancia en árboles caducos
- 2) Los modelos de frío actualmente disponibles han demostrado ser inadecuados especialmente en climas con inviernos cálidos
- 3) Un enfoque más integrativo podría entregar un modelo que ayude a mejorar nuestras estimaciones de frío así como también nuestro conocimiento de la fase de dormancia



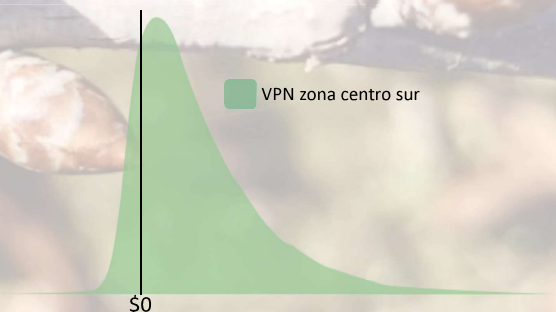
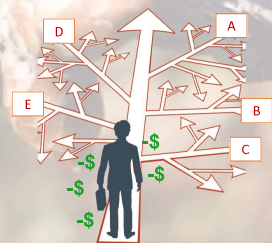
Review

A Conceptual Framework for Winter Dormancy in Deciduous Trees

Erica Fadón ^{*}, Eduardo Fernandez, Helen Behn and Eike Luedeling

Conclusiones

- 1) Con alta probabilidad, áreas con clima Mediterráneo enfrentarán problemas importantes en el futuro cercano para romper la dormancia en árboles caducos.
- 2) Los modelos de frío actualmente disponibles han demostrado ser inadecuados especialmente en climas con inviernos cálidos
- 3) Un enfoque más integrativo podría entregar un modelo que ayude a mejorar nuestras estimaciones de frío así como también nuestro conocimiento de la fase de dormancia
- 4) En general, los efectos del cambio climático involucran la toma de decisiones bajo altos niveles de incertidumbre y métodos participativos pueden ser una alternativa para apoyar dichos procesos



Dormancia en frutales caducifolios – Perspectivas para el cultivo en un clima cambiante

Principales resultados del proyecto *Phenological And Social Impacts of Temperature increase: climatic consequences for fruit production in Tunisia, Chile and Germany (PASIT)*

Dr. Agr. Eduardo Fernández

Department of Horticultural Science, Institute of Crop Science and Resource Conservation (INRES), University of Bonn

✉ efernand@uni-bonn.de

🐦 [@eduormancy](https://twitter.com/eduormancy)

Martes 28 de Septiembre de 2021