

## PERSPECTIVAS DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE MANZANO EN CHIHUAHUA, ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO\*

### PERSPECTIVES ON THE APPLE PRODUCTION SYSTEM IN CHIHUAHUA FACING CLIMATE CHANGE

Manuel Rafael Ramírez Legarreta<sup>1§</sup>, José Ariel Ruiz Corral<sup>2</sup>, Guillermo Medina García<sup>3</sup>, Juan Luis Jacobo Cuéllar<sup>1</sup>, Rafael Ángel Parra Quezada<sup>1</sup>, Mario René Ávila Marioni<sup>1</sup> y Jesús Pilar Amado Álvarez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Sierra de Chihuahua. INIFAP. Hidalgo 1213, Zona Centro. Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México. C. P. 31500. Tel. 01 625 5823110. (jacobojuan@inifap.gob.mx), (parra.rafael@inifap.gob.mx), (avila.rene@inifap.gob.mx), (amado.jesus@inifap.gob.mx). <sup>2</sup>Campo Experimental Altos de Jalisco. INIFAP. Carretera Libre Tepatitlán-Lagos de Moreno, km 8. Jalisco, México. C. P. 47600. Tel. 01 378 7820351. (corral.ariel@inifap.gob.mx). <sup>3</sup>Campo Experimental Zacatecas. INIFAP. Carretera Zacatecas-Fresnillo, km 24.5. Calera, Zacatecas. A. P. 18. C. P. 98500. Tel. 01 478 9850198. (medina.guillermo@inifap.gob.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: legarreta.manuel@inifap.gob.mx.

#### RESUMEN

El ensayo es un intento de estimar desde el punto de vista fenológico, ambiental y socioeconómico el efecto del cambio climático sobre el sistema de producción de manzano en el estado de Chihuahua, México. Se reanalizaron datos de clima, fenología y socioeconómicos con una antigüedad de más de 10 años en periodos diferentes, contextualizando éstos bajo el entorno actual del calentamiento global. Los resultados obtenidos indican tendencias claras en el incremento de los costos de producción, la densidad de plagas, el riesgo de la presencia de enfermedades y la profundidad de extracción del agua de riego.

**Palabras clave:** *Malus sylvestris* (L) Mill. Var. *Domestica* (Borkh) Mansf, calentamiento global, costos de producción.

El manzano [*Malus sylvestris* (L) Mill. Var. *Domestica* (Borkh) Mansf.], es el segundo frutal de clima templado más importante de México con una superficie plantada de 60 228.79 hectáreas, un volumen de producción de 561 492.54 toneladas y un valor de la producción de 2 333.20 millones de pesos al año.

#### ABSTRACT

This essay is an attempt to estimate from the phenological, environmental and socio-economic point of view, the effect of climate change on the apple production system in Chihuahua, Mexico. Climatic, phenology and socioeconomic data were reanalyzed, with a length of more than 10 years in different periods, contextualizing them under the current environment of global warming. The results clearly indicate the trends in the increase in the production costs, pest density, and the risk of disease occurrence and extraction depth of water for irrigation.

**Key words:** *Malus sylvestris* (L) Mill. Var. *Domestica* (Borkh) Mansf, global warming, production costs.

The apple [*Malus sylvestris* (L) Mill var. *Domestica* (Borkh) Mansf.], is the second most important temperate fruit in Mexico with an area of 60 228.79 hectares planted, a production volume of 561 492.54 tons and a production value of 2 333.20 million pesos a year.

El estado de Chihuahua contiene 50% del total plantado y 70% de la producción nacional. En términos generales sobresalen seis aspectos del sistema de producción de manzano que van a ser o están siendo afectados por el binomio cambio climático-calentamiento global: la acumulación de frío invernal; la densidad de plagas; el riesgo de enfermedades; la presencia de lluvias, la profundidad de extracción de agua y los costos de producción.

La acumulación de frío invernal, la relación con la dormancia y las posibles soluciones mediante la aplicación de rompedores de la misma, ha sido señalado por varios autores (Orlandi *et al.*, 2004; Bothelo y Müller, 2007); en todos los casos se determina que la rentabilidad del cultivo va a ser modificada hacia la reducción. La brotación derivada de la acumulación de frío y sus subsecuentes eventos, es un proceso que recién inicia a ser estudiado en algunas especies (Alonso *et al.*, 2005) y en pocos casos los antecedentes son de una antigüedad mayor, incluso su relación con el cambio climático (Cannell y Smith, 1986; Hunter y Lechowicz, 1992).

Los estudios sobre enfermedades e insectos plaga, y su relación con el cambio climático también son recientes, indicando el incremento en el uso de plaguicidas e inicios anticipados de epidemias, sobre todo en sistemas de monocultivos (Hannukkala *et al.*, 2007; Amiri y Eslamian, 2010). El modelaje del riesgo de enfermedades ante el cambio climático implica la inclusión de posibles escenarios en un futuro cercano (Alves *et al.*, 2011).

El patrón y la cantidad de lluvias está siendo afectado en el denominado desierto Chihuahuense y por lo tanto también se está modificando la disponibilidad de agua (Roblero *et al.*, 2010); 95% del manzano plantado en México depende del agua de riego extraída de pozo profundo, agua de la que dependen también las comunidades que se han desarrollado alrededor de los focos de crecimiento frutícola. Es notable también que los costos de producción se incrementan año con año. El objetivo del presente ensayo es conjuntar los aspectos señalados y tratar de predecir cuál será el efecto del cambio climático sobre un sistema de producción cómo el manzano y cuáles podrían ser las probables medidas para enfrentar o disminuir su impacto.

**Inviernos cálidos y presencia de años secos.** El rompimiento de la dormancia e inicio de brotación del manzano tiene como prerequisite la acumulación de frío durante el invierno. Para los dos cultivares de manzano que representan 90%

Chihuahua contains 50% of the total planted and 70% of the national production. In general, six aspects of apple production system that will be or are being affected by binomial climate change-global warming, stand out: the accumulation of Winter chilling, the pest density, disease risk, and the presence of rain, the depth of water extraction and production costs.

The Winter chilling accumulation, the relationship with dormancy and potential solutions by applying breakers on it, have been reported by several authors (Orlandi *et al.*, 2004; Bothelo and Müller, 2007); in all cases is determined that the crop profitability will be modified and will tend to decrease. Budding derived from the chilling accumulation and subsequent events, is a process that has just started to be studied in some species (Alonso *et al.*, 2005) and in a few cases exists an older background, even about its relationship with climate change (Cannell and Smith, 1986; Hunter and Lechowicz, 1992).

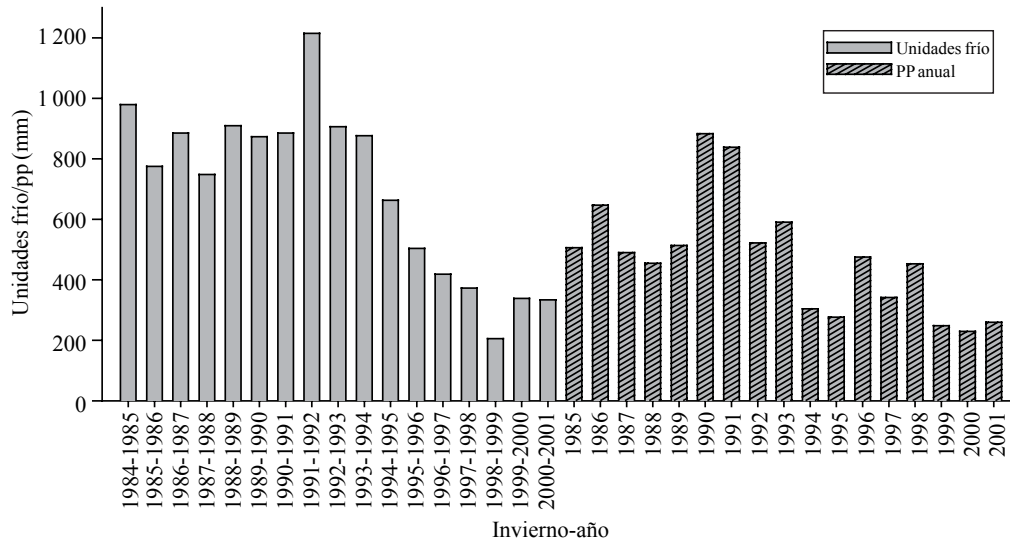
Studies about diseases and insect pests and their relation to climate change are also recent, indicating the increased use of pesticides and early epidemics, beginning especially in monoculture systems (Hannukkala *et al.*, 2007; Amiri and Eslamian, 2010). The modeling of disease-risk, facing climate change involves the inclusion of possible scenarios in the near future (Alves *et al.*, 2011).

The pattern and amount of rainfall are being affected in the Chihuahuan Desert and, therefore the water availability is also changing (Roblero *et al.*, 2010); 95% of apple trees planted in Mexico depend on irrigation, extracted from deep wells, communities that have developed around the orchards also depend on this water. It is also remarkable that, production costs increase every year. The aim of this essay is to bring together the raised points and, to try to predict the effect of climate change on a production system, such as apples and what measurements could be taken in order to face or decrease its impact.

**Warm Winters and presence of dry years.** The dormancy breaking and the beginning of sprouting in apple trees, have as a prerequisite the accumulation of chilling in the Winter. For the two apple cultivars that represent 90% of plantings in Chihuahua, Mexico; these requirements range between 700 and 1 000 chilling units (CU) (Carvajal-Millán *et al.*, 2000); these requirements were met without any problems until 94-95 Winter; however, the CU accumulation started to decrease from the 1992-1993 Winter (Figure 1).

de la superficie plantada en Chihuahua, México, estos requerimientos oscilan entre 700 y 1 000 unidades frío (UF) (Carvajal-Millán *et al.*, 2000); dichos requerimientos fueron completados sin problemas hasta el invierno 94-95; sin embargo, la acumulación de UF inició su descenso a partir del invierno 1992-1993 (Figura 1).

The minimum accumulated during the period 1984-2001 was of 207 CU in the Winter of 1998-1999, this figure represented 17% of the accumulated CU in the Winter of 1991-1992. From that Winter, the production costs rose about 6% because of the need for dormancy breakers that forced the tree to sprout under poorly cold conditions



**Figura 1. Acumulación de unidades frío para manzano según el método Richardson durante los inviernos 1984-1985 a 2000-2001 y precipitación pluvial ocurrida durante 1985 a 2001.**

**Figure 1. Accumulation of chilling units for apple by the method of Richardson, during the Winters of 1984-1985 to 2000-2001 and, rainfall occurred during the 1985 to 2001 years.**

El mínimo acumulado durante el periodo 1984-2001 fue de 207 UF en el invierno 1998-1999, ésta cifra representó 17% de UF acumuladas en el invierno 1991-1992. A partir de este invierno los costos de producción se elevaron 6% por la necesidad de aplicar rompedores de dormancia que obligan al árbol a brotar bajo condiciones de frío deficiente (Bothelo y Müller, 2007). El abatimiento en la acumulación de frío para manzano ha sido detectado en otros países, sobre todo en huertos plantados en altitudes menores a 2 700 msnm (Singh-Rana, *et al.*, 2009), mostrándose tendencias hacia la reducción de las áreas de producción.

(Bothel and Müller, 2007). The depletion in the chilling accumulation for apple trees has been detected in other countries, especially in orchards planted at altitudes under 2700 masl (Singh-Rana, *et al.*, 2009), showing trends towards reduction of producing areas.

El otro aspecto que la Figura 1, permite detectar la coincidencia del año en que la acumulación de frío desciende (1992) y el inicio del descenso de la precipitación ocurrida en el periodo 1992-2001. En éste último periodo se ha estimado que el déficit de lluvia fue de 668 mm; aproximadamente 56 mm por año (Lizárraga *et al.*, 2009). El aspecto relevante del gráfico es que fueron las primeras señales de un cambio de clima detectado en Chihuahua, hacia la presencia de inviernos calientes y la disminución de la precipitación pluvial durante el siguiente ciclo.

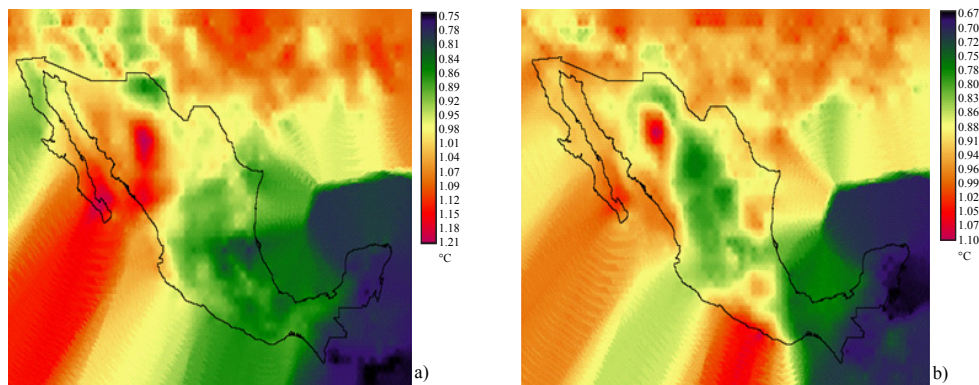
The other aspect that the Figure 1 allows to detect is the coincidence of the year in which the chilling accumulation drops (1992) and the beginning of the decrease in precipitation occurred in the 1992-2001 period. In the latter period was estimated that, the rainfall deficit was of 668 mm; approximately 56 mm per year (Lizárraga *et al.*, 2009). The relevance of the graph is that, those were the first signs of climate change found in Chihuahua, regarding to the presence of warm Winters and, lower rainfall during the next cycle.

The Figures 2 and 3 show the scenarios of increased temperature and decreased rainfall, they were developed through general circulation models (Butler *et al.*, 2009), confirming that, the most affected area shall be mainly within Chihuahua and Durango, while the precipitation decrease will practically cover most of the country.

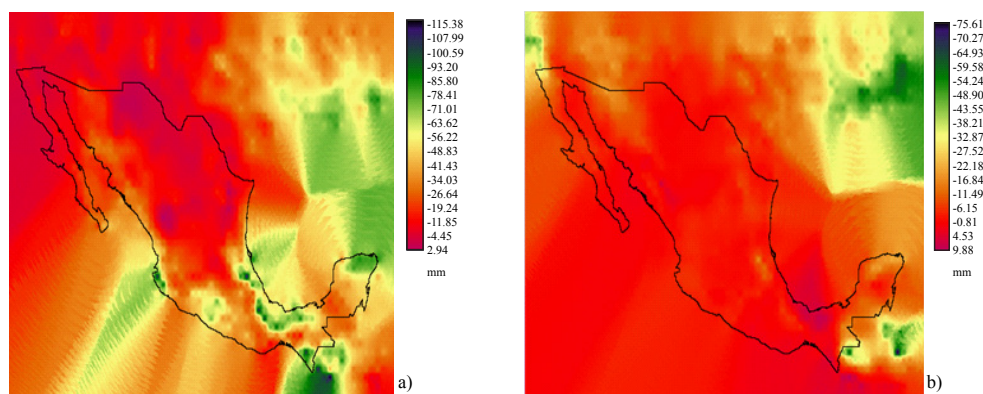
Las Figuras 2 y 3 muestran los escenarios de incremento en la temperatura y la disminución de la precipitación, desarrollados mediante modelos de circulación general (Butler *et al.*, 2009), ratificando que la zona de mayor afectación estará comprendida en los estados de Chihuahua y Durango principalmente; en tanto que la disminución de la precipitación prácticamente cubrirá la mayor parte del país.

In coming years, it is predicted that in the apple producing region of Chihuahua, the chilling accumulation will range between 500 and 550 CU maximum, and the areas with accumulations greater or equal to 700 CU, will decrease.

**Impact of the warm Winters' presence on phenology.** During the subsequent Springs of the Winters of 1996-1997, 1997-1998 and 1998-1999, the flowering kinetics



**Figura 2. Niveles de calentamiento esperados en 2010-2039, para dos ciclos de cultivo; a) primavera-verano; y b) otoño-invierno.**  
**Figure 2. Warming levels expected in 2010-2039, for two crop cycles: a) Spring-Summer and b) Autumn-Winter.**



**Figura 3. Niveles de cambios de lluvia esperados para 2010-2039, para dos ciclos de cultivo; a) primavera-verano; y b) otoño-invierno.**  
**Figure 3. Rainfall changes levels expected for 2010-2039, for two crop cycles: a) Spring-Summer and b) Autumn-Winter.**

Se predice que en la región manzanera de Chihuahua, en los próximos años el rango de acumulación de frío se ubicará entre las 500 y 550 UF como máximo, disminuyendo aquellas áreas con acumulaciones iguales o superiores de las 700 UF acumuladas.

**Impacto de la presencia de inviernos cálidos sobre la fenología.** Durante las primaveras subsiguientes a los inviernos 1996-1997, 1997-1998 y 1998-1999, se analizó la cinética de floración de los cultivares Golden y Red Delicious,

of Golden and Red Delicious cultivars were analyzed, aiming to define the behavior of the eight most important stages of apple sprouting (Proebesting and Mills, 1978), under previous conditions of Winter with low chilling accumulation. The counterpart of this paper was developed in an orchard managed with evaporative cooling (Anderson *et al.*, 1975; Barfield *et al.*, 1977), which has also a compensating effect of chill units (Gilreath and Buchanan, 1979) simulating the conditions of Winters with high chilling accumulation for the same cultivars.

con el objetivo de definir cuál era el comportamiento de los ocho estadios más importantes de la brotación del manzano (Proebesting y Mills, 1978), bajo condiciones previas de inviernos de baja acumulación de frío. La contraparte de este trabajo fue desarrollada en un huerto manejado con enfriamiento evaporativo (Anderson *et al.*, 1975; Barfield *et al.*, 1977), el cual tiene también un efecto compensador de unidades frío (Gilreath and Buchannan, 1979) simulando las condiciones de inviernos de alta acumulación de frío para los mismos cultivares.

El proceso de desarrollo fenológico se midió mediante unidades calor (Degrandi-Hoffman *et al.*, 1996) con punto crítico de 7 °C (Anstey, 1965). Los resultados del estudio indicaron (Cuadro 1) que todo el proceso de brotación-amarre de fruto es afectado por la calidad del invierno alargándose en la tipificación de inviernos cálidos. En ambos casos, la temperatura de primavera que afecta el desarrollo fenológico (Hunter y Lechowicz, 1992; Tiyayon, 2009) fue la misma. El cultivar con mayor afectación fue Golden Delicious (GD), debido a que sus requerimientos de frío son más elevados que los de Red Delicious (RD).

The phenological development process was measured by heat units (Degrandi-Hoffman *et al.*, 1996), with a critical point of 7 °C (Anstey, 1965). The study results indicated (Table 1) that, the whole process of fruit sprouting-setting is affected by the Winter quality, stretching in the definition of warm Winters. In both cases, the Spring temperature that affects the phenological development (Hunter and Lechowicz, 1992; Tiyayon, 2009) was the same. The most affected cultivar was Golden Delicious (GD), because its chilling requirements are higher than those of Red Delicious' (RD).

The most important stage that was affected by the presence of warm Winters was flowering and, the annual cycle of the apple depends on it, from the economic point of view; for the GD cultivar it nearly doubled its length. The implications in terms of costs, risk and quality of fruit obtained is still huge and, it has not been calculated so far in relation to a short and compact flowering. The situation gets complicated by the fact that, the orchards are a mixture of the two cultivars, extending the flowering period up to 45 days and, producing a cascading effect on the rest of the culture phenophases (Gordo and Sanz, 2010).

**Cuadro 1. Unidades térmicas (7 °C) promedio acumuladas a partir del primer registro de ocho estadios fenológicos en manzano, durante los ciclos 1996, 1997 y 1998.**

**Table 1. Average thermal units (7 °C) accumulated after the first record of eight phenological stages of apple trees, during cycles 1996, 1997 and 1998.**

Etapa fenológica	Sin enfriamiento evaporativo (invierno cálido)		Con enfriamiento evaporativo (invierno frío)	
	Red Delicious	Golden Delicious	Red Delicious	Golden Delicious
Brotación*	110 ± 8	101 ± 18	86 ± 31	81 ± 10
Punta verde	96 ± 19	132 ± 25	92 ± 19	73 ± 5
Media pulgada verde	78 ± 24	117 ± 46	83 ± 30	72 ± 8
Racimo estrecho	90 ± 18	166 ± 30	98 ± 8	80 ± 7
Punto rosa	101 ± 18	142 ± 22	85 ± 22	110 ± 15
Floración	94 ± 8	169 ± 30	73 ± 13	85 ± 4
Caída de pétalos	103 ± 14	162 ± 12	102 ± 2	73 ± 30
Amarre de fruto	155 ± 39	208 ± 42	74 ± 7	113 ± 4
Brotación-amarre de fruto	336 ± 44	477 ± 30	323 ± 47	429 ± 49

\*= el inicio de brotación se consideró cuando se registró la primera yema hinchada en la población muestreada.

El estadio más importante que resultó afectado por la presencia de inviernos cálidos fue la floración, del cual depende todo el ciclo anual de la manzana desde el punto de vista económico; en el cultivar GD prácticamente duplica su duración. Las implicaciones en términos de costos, riesgo y calidad de fruto obtenida es enorme y no calculado todavía, en relación a una floración corta y compacta. La situación se complica debido que las huertas son mezclas de los dos

One of the side effects of the warm Winter of 1998-1999, was the largest epidemic of *Erwinia amylovora* in the history on apple flowering in the producing region of Chihuahua during the Spring of 1999. The economic losses were about 300 million pesos at regional level during that year and, 600 million the following one, as the subsequent effect of cuttings' and flower buds death (Ramírez *et al.*, 2008).

cultivares extendiendo el periodo de floración hasta por 45 días y produciendo un efecto cascada en el resto de fenofases del cultivo (Gordo y Sanz, 2010).

Uno de los efectos colaterales del invierno cálido de 1998-1999 fue la mayor epidemia en la historia de *Erwinia amylovora* sobre la floración del manzano en la región productora de Chihuahua durante la primavera de 1999. Las pérdidas económicas estimadas fueron de 300 millones de pesos a nivel regional durante ese año y de 600 millones al año siguiente, como efecto subsecuente de muerte de crecimientos y yemas florales (Ramírez *et al.*, 2008).

### Impacto del cambio climático sobre plagas y enfermedades

**Palomilla de la manzana (*Cydia pomonella* L.).** El dato más antiguo con que se cuenta de densidad de machos de ésta plaga es de 1976 (García-Salazar, 1980); el total de machos capturados mediante atrayentes de feromona durante ese año fue de 230. En 2002 esa cantidad fue capturada en una sola semana de trampeo.

Los insectos plaga como todo sistema poiquilotérmico (Choi y Ryoo, 2003; Faust y Weston, 2009) están respondiendo al incremento de temperatura y a sus fluctuaciones. Durante los ciclos 2001 y 2002 se evaluaron en 10 huertos del valle de Cuauhtémoc, Chihuahua la dinámica poblacional de machos de palomilla de la manzana tipificando a 2001 como un año más frío que 2002, en relación a las unidades térmicas acumuladas dentro de los umbrales de desarrollo de esta plaga de 10 y 31.1 °C (Beers *et al.*, 1993).

La Figura 4, muestra cómo se incrementa la densidad de población en el año más caliente y cómo responde el productor en términos de impacto ambiental; el cual se encuentra estrechamente relacionado con  $R^2 = 0.9561$  (Ramírez y Jacobo, 2002) a la cantidad de ingrediente activo en  $\text{kg ha}^{-1}$  de insecticidas aplicados. En sí el calentamiento global impulsa el incremento de las densidades de población de insectos-plaga, incrementa a la vez el uso de agroquímicos, y por ende los costos de producción.

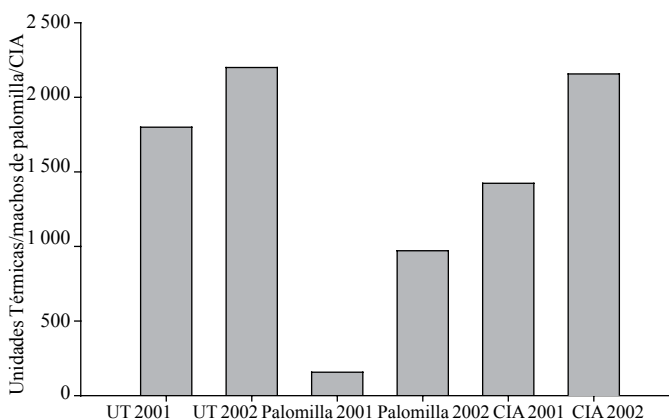
Otros costos adicionales, hasta cierto punto menos tangibles, fueron los residuos de insecticidas encontrados en los frutos cosechados; mientras que en 2001 se detectaron residuos de cuatro insecticidas (captan, Fosmet, Cloropirifos y Azinfos metil) en 2002 se detectaron residuos de ocho insecticidas (Captan, Fosmet, Cloropirifos, Endosulfán, Carbaryl, Dimetoato, Paratión y Ometoato) (Ramírez *et al.*, 2004).

### Impact of climate change on pests and diseases

**Codling moth (*Cydia pomonella* L.).** The oldest data about males density of this pest dates back to 1976 (García-Salazar, 1980), the total number of males captured by pheromone attractants that year was 230. In 2002 that amount was captured in a single week of trapping.

Insect pests, as any poikilothermic system (Choi and Ryoo, 2003; Faust and Weston, 2009) are responding to increased temperature and its fluctuations. During the 2001 and 2002 cycles, in 10 orchards of the Cuauhtémoc valley, Chihuahua, the dynamics of the male codling population were evaluated, typifying 2001 as a colder year than 2002 compared to the thermal units accumulated within the development thresholds of this plague, which range between 10 and 31.1 °C (Beers *et al.*, 1993).

The Figure 4 shows the increasing in population density of the warmest year and, how does the producer respond in terms of environmental impact; which is closely related to  $R^2 = 0.9561$  (Ramírez and Jacobo, 2002) and the amount of active ingredient in  $\text{kg ha}^{-1}$  of applied insecticides. The global warming itself drives the increasing population densities of insect-pests, while increasing the use of agrochemicals and, thus, production costs as well.



**Figura 4. Unidades térmicas (UT) acumuladas (10 y 31.1°C), promedio de machos de palomilla de la manzana capturados y coeficiente de impacto ambiental (CIA) derivado del uso de insecticidas en 10 huertos de manzano.**

**Figure 4. Accumulated thermal units (10 and 31.1 °C) average of captured apple moth males and the environmental impact quotient (EIQ) from the use of insecticides in 10 apple orchards, 2001-2002.**

**Plagas secundarias-chicharrita (*Typhlocyba pomaria*).**

Este insecto es catalogado plaga secundaria dentro del sistema de producción del manzano en Chihuahua, se considera incluso que las aplicaciones de insecticidas que se realizan para *Cydia pomonella*, permiten la reducción de poblaciones del insecto; considerando los mismos años que en el apartado anterior (2001-2002), se observó que el número de chicharritas atrapadas durante 2002 se incrementó 26%. De un promedio anual por trampa amarilla de 650.7 adultos de chicharrita durante 2001, se elevó a 888.5 en 2002.

El aumento no fue similar al que presentó *Cydia pomonella*, debido posiblemente a que las temperaturas umbrales de *Typhlocyba pomaria*, permiten una menor acumulación de unidades térmicas de 13-28 °C (Knight *et al.*, 1991). Es factible que insectos que son considerados plagas secundarias puedan llegar a considerarse plagas primarias, como efecto de la multiplicación de su densidad de población y los cambios entre las relaciones plaga hospedante inducidos por el cambio climático (Bentz *et al.*, 2010).

**Tizón de fuego (*Erwinia amylovora*).** Normalmente cuando se analizan aspectos del cambio climático a largo plazo, cómo se hace en la Figura 2 y 3, las predicciones no son muy alarmantes. Señalar que en los próximos 30 años se elevará la temperatura uno o dos grados centígrados, posiblemente llame la atención de muy pocos; sin embargo, dentro de estos cambios que se presentan cómo graduales, existen períodos extremos en donde la temperatura se incrementa hasta 4 °C en un período de cuatro años consecutivos, aumentando el riesgo de la incidencia de enfermedades.

Durante los años 1997-2000 se evaluó el riesgo de infección de *Erwinia amylovora*, en el período de floración del manzano de los cultivares Red y Golden Delicious en Cuauhtémoc, Chihuahua, México, mediante el modelo MARYBLYT (Steiner y Lighter, 1996; Ramírez *et al.*, 2009a y 2009b). Los resultados indicaron que sólo en el periodo 1997-2000 y durante el estadio de floración la temperatura media se elevó 3.7 °C (28% respecto a 1997); por lo tanto, los días con riesgo de infección por tizón de fuego se incrementaron 300%. En el año 2000, prácticamente todo el estadio de floración de ambos cultivares fue de alto riesgo de infección por la bacteria (Cuadro 2).

Other additional and less tangible costs, were insecticide residues found in the harvested fruits; while in 2001, four insecticides residues were detected (Captan, Phosmet, Chlorpyrifos and Azinphos methyl), in 2002, the residues of eight insecticides were detected (Captan, Phosmet, Chlorpyrifos, Endosulfan, Carbaryl, Dimethoate, Parathion and Omethoate) (Ramírez *et al.*, 2004).

**Secondary pests, white apple leafhopper (*Typhlocyba pomaria*).**

This insect is listed as a secondary pest in the apple production system in Chihuahua; is considered that, insecticide applications for *Cydia pomonella* also reduces this insect population; considering the same period of the previous section (2001-2002), it was noted that the number of white apple leafhoppers trapped in 2002 increased by 26%. The annual average per yellow trap of 650.7 of adult leafhoppers during 2001, rose to 888.5 in 2002.

The increase was not similar to that presented by *Cydia pomonella*, probably due to the thresholds temperatures of *Typhlocyba pomaria* that allow a lower accumulation of thermal units of 13-28 °C (Knight *et al.*, 1991). It is likely that insects that are considered secondary pests will become primary pests, as an effect of multiplying its population density and, changes between the pest-host relationships induced by climate change (Bentz *et al.*, 2010).

**Fire blight (*Erwinia amylovora*).** Normally when aspects of long-term climate change are analyzed as in Figure 2 and 3, the predictions are not that alarming. The fact that, in the next 30 years, the temperature will raise one or two Celsius degrees, may draw the attention of a few; but within these gradual changes, there are extreme periods where the temperature increase up to 4 °C over a period of four consecutive years, increasing the risk of disease incidence.

During 1997-2000, the risk of infection for *Erwinia amylovora* in the apple flowering period was evaluated in Red and Golden Delicious cultivars in Cuauhtémoc, Chihuahua, Mexico using the model MARYBLYT (Steiner and Lighter, 1996; Ramírez *et al.*, 2009a and 2009b). The results indicated that only in the period 1997-2000 and, during the flowering stage, the average temperature rose 3.7 °C (28% compared to 1997); therefore, the days with risk of infection by fire blight increased in 300%. In 2000, all the flowering stages of both, the cultivars had a high risk of infection by the bacteria (Table 2).

**Cuadro 2. Temperaturas medias y días riesgo de infección por *Erwinia amylovora*, durante la floración de Red y Golden Delicious en 1996, 1997, 1998 y 2000.**

**Table 2. Average temperatures and days of infection risk by *Erwinia amylovora*, during the flowering of Red and Golden Delicious in 1996, 1997, 1998 and 2000.**

Características	Año				Incremento*	
	1997	1998	1999	2000	(%)	Real
Temperatura media (°C)	12.9	13.3	15.6	16.6	28	3.7
Días riesgo de infección**	13	19	26	39	300	26

\*= calculado en relación a los años 1996 y 2000; \*\*= los días riesgo se calculan sobre temperaturas superiores a los 15.6 °C.

Cenicilla del manzano (*Podosphaera leucotricha*). El desarrollo de las epidemias de cenicilla del manzano es inverso a la presencia de lluvia, ya que cuando la precipitación pluvial excede los 300 mm, el porcentaje de follaje dañado no es superior a 2%; en tanto que en el rango de 0 a 100 mm el nivel de daño llega hasta 16% de follaje dañado (Ramírez *et al.*, 2002). Los resultados fueron validados en huertos de diferente tipo de riego, encontrando que el huerto bajo riego con aspersión presentaba el menor porcentaje de daño, en relación a huertos con riego de microaspersión y rodado (4% vs 12 y 16% respectivamente).

La tendencia posible de la enfermedad en un futuro cercano, es que sea más importante de lo que actualmente representa; ya que los nuevos cultivares que el mercado demanda son altamente sensibles a este hongo (Sholberg *et al.*, 2001). En 2002 se aplicaron 4.09 kg ha<sup>-1</sup> del ingrediente activo (i. a.) de fungicidas para el manejo de la cenicilla del manzano (Ramírez *et al.*, 2004), para 2010 se estima que se aplicaron 10.5 kg ha<sup>-1</sup> de i. a.

**Disponibilidad de agua de riego.** De todos los apartados tratados que se abordan en este documento éste en particular es el más álgido de discutir. La Figura 5, integra de manera concreta la mayor parte de la problemática del agua en la región productora de manzano de Chihuahua, representando la profundidad de perforación a la que se ha extraído el agua desde la década de 1920 a la fecha (Ramírez *et al.*, 2009a y 2009b). La Figura muestra el pasado, presente y futuro de muchas de las regiones agrícolas donde se depende del agua de riego de pozo profundo.

A partir de la década de 1920 la profundidad de perforación para extraer agua de riego se ha multiplicado por 100 en 1990 y por 380 en 2010, revela también que en un lapso de 90 años el principal acuífero para la producción de manzana del país, se encuentre catalogado como sobre explotado (Parra *et al.*, 2009). Algunos autores señalan que la profundidad del nivel estático llega a los 2 624 pies (Orozco, 2010).

**Apple powdery mildew (*Podosphaera leucotricha*).**

The development of apple powdery mildew epidemics is inverted to the presence of rain, because when the rainfall exceeds 300 mm the percentage of damaged foliage does not exceed 2%; while in the range from 0 to 100 mm, the level of damage reaches 16% of foliage (Ramírez *et al.*, 2002). The results were validated in orchards with different irrigation types, finding that orchards under sprinkler irrigation had the lowest percentage of damage compared to orchards with micro-sprinkler and rolling irrigation (4% vs 12 and 16% respectively).

The possible trend of this disease in the near future is that it will become more important; as the new cultivars demanded by the market are highly sensitive to this fungus (Sholberg *et al.*, 2001). In 2002, 4.09 kg ha<sup>-1</sup> of active ingredient (a. i.) of fungicides were applied for managing powdery mildew on apples (Ramírez *et al.*, 2004), by 2010 is estimated that 10.5 kg ha<sup>-1</sup> of a. i. were applied.

**The availability of irrigation water.** Of all the sections covered in this paper, this particular one is the most difficult to discuss. The Figure 5 integrates the water issues in the apple-producing region of Chihuahua, representing the drilling depth to which water is drawn from the 1920 to our days (Ramírez *et al.*, 2009a and 2009b). The Figure shows the past, present and future of many agricultural regions that, depend on irrigation water of deep well.

From the 1920's, the depth of drilling for irrigation water has been multiplied by 100 in 1990 and by 380 in 2010; it also reveals that within 90 years, the main aquifer for apple production in the country is listed as overexploited (Parra *et al.*, 2009). Some authors suggest that, the static depth reaches 2 624 feet (Orozco, 2010).

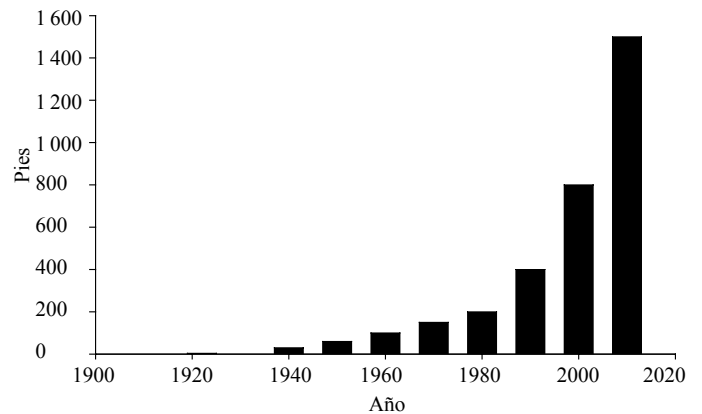


Existen una serie de efectos colaterales relacionados con el gráfico que van desde el tiempo en que el agua disponible en el subsuelo va a soportar al sistema de producción, la salinización de los suelos, el costo real del agua y el costo real del producto derivado del uso del agua. En relación al primer aspecto no existen estudios al respecto en la zona de producción de manzana; sin embargo, en otras investigaciones realizados en el denominado desierto chihuahuense, se plantea la modificación de los calendarios de riego ante las tendencias claras del desabasto anual (Roblero *et al.*, 2010).

Los estudios sobre la cantidad de agua disponible en los acuíferos tienen una gran factibilidad de realizarse y pudieran definir políticas públicas del uso del agua (Rodríguez, 2006). El segundo tópico se encuentra relacionado con el proceso de extracción de las partes más profundas del acuífero y conlleva la salinización de los suelos. En una investigación desarrollada durante los años 2003 a 2006, se encontró que las aguas; 60% de los pozos del acuífero Cuauhtémoc se encontraba en categorías de altamente salinos y alto contenido de sodio. Estos resultados pueden implicar que el sistema de producción se agote antes que el recurso agua, por efecto del proceso de salinización de los suelos. Pimentel (1997), citando a La Veen y King (1985), señalan que si el productor agrícola pagara el costo real del agua manejaría el riego con mayor efectividad; sin embargo, en México, el agua *per se* no tiene un costo adicional (Fortis, *et al.*, 2009) y si lo tuviera posiblemente ningún sistema producto del norte de México podría pagarlo.

Los costos conocidos del agua son muy variables y generalmente van en función de la rentabilidad y eficiencia de transformación del producto para el que fue utilizada (Sánchez, 2005); también, básicamente se refieren al proceso de extracción y distribución. Los datos conocidos oscilan desde \$0.58 hasta 3.50 pesos el m<sup>3</sup>, tratándose exclusivamente de agua de pozo profundo (Fortis *et al.*, 2009). Pimentel *et al.*, (1997), mencionan que para extraer siete millones de litros de agua por hectárea (700 mm de lluvia) a una profundidad de 30 m equivale a un costo de 1 000 dólares americanos; si a esto se le agrega el subsidio del gobierno, de 998 dólares americanos por hectárea, datos del oeste norteamericano; (Pimentel *et al.* 1997), tendremos un costo real del agua de 1 980 dólares americanos por hectárea por año (23 760 en equivalencia de 12 pesos por dólar americano).

Cada m<sup>3</sup> de agua representaría un costo real de \$3.39 pesos. Los Estados Unidos de América subsidian con 4 400 millones de dólares a 4.5 millones de hectáreas irrigadas en la parte Oeste de este país (Pimentel *et al.*, 1997). Parra



**Figura 5. Profundidad de extracción de agua en pozos profundos para riego de huertos de manzano en Chihuahua.**

**Figure 5. Extraction depth of water from deep wells for irrigation of apple orchards in Chihuahua, Mexico.**

A number of side effects are related to the graph; the time that the available water in the ground will support the production system, soil salinization, the real cost of water and the actual cost of the product, derived from water use. Regarding to the first point, there are no studies in the apple production area; but other researches in the Chihuahuan desert, recommend the modification of irrigation schedules facing the clear trends of annual shortage (Roblero *et al.*, 2010).

Studies about the amount of available water in aquifers are very likely to be done and, they would also define public policies of water use (Rodríguez, 2006). The second topic is related to the extraction of the deepest parts of the aquifer and, leads to soil salinization. In a research carried out during the years 2003 to 2006, it was found that, 60% of the Cuauhtémoc aquifer wells are classified as high-salt and high in sodium.

These results may imply the depletion of the production system before the water itself, as an effect of the soil salinization process. Pimentel (1997), citing to La Veen y King (1985), argues that, if the farmer paid the real cost of water, may handle irrigation more effectively; but in Mexico, the water *per se* has not an additional cost (Fortis, *et al.*, 2009) and if that value would exist, any production system in northern Mexico could afford it.

The known costs of water are highly variable and, are generally based on the profitability and transformation efficiency of the product in which the water was used (Sánchez, 2005); they also refer to the process of extraction

*et al.* (2009) determinaron que producir 30 000 kg ha<sup>-1</sup> de manzana en el tratamiento-testigo-microaspersión del productor requirió 12 370 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, mientras que el uso de riego deficitario mediante riego subsuperficial permitía la obtención de 38 000 kg ha<sup>-1</sup> con el uso de 5 000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. El costo real del agua en el tratamiento del productor fue de \$ 41 934.3 pesos por hectárea, en tanto que el tratamiento más económico fue de \$16 950.00 por hectárea.

En el primer caso implica un costo adicional por kilogramo de manzana de \$ 1.39 (46.3% adicional al costo promedio de producción actual) y en el segundo de \$ 0.4 por kilogramo (13.3% adicional al costo promedio de producción actual). Sin embargo, el tema está seriamente minimizado ya que la profundidad de extracción de agua en Cuauhtémoc, Chihuahua, México, no es de 30 m, sino 15 veces más y a la fecha no existen plantaciones de manzano con riego subsuperficial.

**Costos de producción.** Se estima que el costo de producir un kilogramo de manzana es similar en los Estados Unidos de América que en México, la diferencia clave se encuentra en la rentabilidad por hectárea (Ramírez *et al.*, 2006). El costo promedio de producción por kilogramo de manzana en 1995 era de \$ 0.7; para 2002 se elevó a \$ 2.05 y en 2010 el costo de producción por kilogramo de fruta fue de \$ 3. En un lapso de 16 años el costo de producción se elevó 428% en promedio, existen extremos que llegan a 500%. Hasta 2010 el precio promedio de venta por parte del productor fue de \$ 3.5.

Es complicado definir qué parte o partes del incremento de los costos de producción son originados por el cambio climático, la inflación, incremento de combustibles etc; sin embargo, existe un apartado el cuál probablemente es el más sensible a los efectos del cambio climático; los kilogramos de ingrediente activo de insecticidas utilizados para el manejo de *Cydia pomonella*, fundamentando esto en el comportamiento de la Figura 4. Durante los ciclos 2001-2002 se utilizaron en promedio 46.02 kg ha<sup>-1</sup> de i. a. de insecticidas, en los ciclos 2009-2010 se emplearon 63.04 kg ha<sup>-1</sup>, el incremento en siete años en este rubro fue 37%.

El equivalente de este incremento fue elevar 3% los costos totales del manejo de plagas por año por hectárea. De un promedio anual de 17% de los costos totales de producción dedicados al manejo de plagas, el incremento del volumen de plaguicidas para el manejo de *Cydia pomonella* llevó el costo del manejo de plagas a constituirse 21% del costo total de la producción.

and distribution. Available data range from \$ 0.58 up to 3.50 pesos per m<sup>3</sup>, of deep-well water exclusively (Fortis *et al.*, 2009). Pimentel *et al.*, (1997), mention that, in order to remove seven million liters of water per hectare (700 mm of rain) at a depth of 30 m, is equivalent to a cost of US \$1 000; if a government subsidy of US \$998 dollars per hectare is added, data from the American West, (Pimentel *et al.* 1997), the true cost of water would be of US \$1 980 US dollars per hectare per year (23 760 at the equivalent of 12 pesos per US dollar).

Each m<sup>3</sup> of water would represent an actual cost of \$ 3.39 pesos. The United States subsidize 4 400 billion dollars to 4.5 million hectares irrigated in the western of this country (Pimentel *et al.*, 1997). Parra *et al.* (2009), determined that producing 30 000 kg ha<sup>-1</sup> in the treatment-control-micro-sprinkling of the producer, required 12 370 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, while the use of deficit irrigation by subsurface irrigation allowed the production of 38 000 kg ha<sup>-1</sup> with the use of 5 000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. The true cost of water in the producer treatment, was of \$41 934.30 per hectare, while the cheapest treatment was \$ 16 950.00 per hectare.

The first case involves an additional cost per kilogram of apples for \$ 1.39 (46.3% additional to the average cost of the current production) and, in the second case of \$ 0.40 per kilogram (13.3% additional to the average cost of the current production). However, the issue is seriously minimized because of the depth of water extraction in Cuauhtémoc, Chihuahua, Mexico, is not of 30 m, but 15 times higher and, currently there are no apple orchards with subsurface irrigation.

**Production costs.** It is estimated that, the cost of producing one kilogram of apple is similar in the United States than in Mexico, the difference lies in the profitability per hectare (Ramírez *et al.*, 2006). The average production cost per apple kilogram in 1995 was \$ 0.70, in 2002 it was \$ 2.05 and in 2010 the production costs per fruit-kilogram was \$ 3.00. In 16 years, the production costs rose 428% on average; there are extremes that reach 500%. Until 2010 the average sales price of the producer was \$ 3.50.

It is hard to define which part/parts of the increase in production costs are caused by climate change, inflation, increased fuel prices etc; but there is a section that, is probably the most sensitive to the effects of climate change: the kilograms of active ingredient of insecticides used to manage *Cydia pomonella*, basing this on the behavior of Figure 3. During the 2001-2002 cycle, an average of 46.02 kg ha<sup>-1</sup> of insecticides a. i. were used, in the 2009-2010 cycle

**Nuevas áreas de producción.** En un trabajo realizado en los años 2005 y 2006 en un sistema de producción bajo condiciones de temporal en Hidalgo y el Estado de México, se pudo determinar que producir un kilogramo de manzana de alta calidad tuvo un costo de \$ 0.4 con el cultivar Golden Delicious y \$ 0.46 con Red Delicious (Ramírez *et al.*, 2007a). El trabajo también señaló que la acumulación de UF durante esos inviernos fue de 900 y 1 000. El bajo costo de producción se debe a varios factores pero existen tres muy importantes: alto contenido de materia orgánica en los suelos, acumulación de frío y un temporal que cubre las necesidades del cultivo (Ramírez *et al.*, 2007b).

La Figura 6 permite observar tres aspectos: la demanda de agua anual del manzano y su distribución, la cantidad de agua de lluvia en Cuauhtémoc, Chihuahua y en Acaxochitlán, Hidalgo, México. La demanda es superior 2.7 veces al abasto por lluvia en Chihuahua, en tanto que en Hidalgo el abasto por lluvia es 1.4 veces la demanda del manzano. Si éste evento va acompañado de suelos con materia orgánica entre 3 y 7% y profundidades de hasta 10 m la ventaja agroecológica es obvia en relación a Chihuahua.

El planteamiento del sistema de producción en el agroecosistema de Hidalgo tendría que ser diferente, de hecho lo es al sistema de producción de Chihuahua; ya que no se podría pensar en grandes extensiones, sino en huertos pequeños y de altas densidades de plantas.

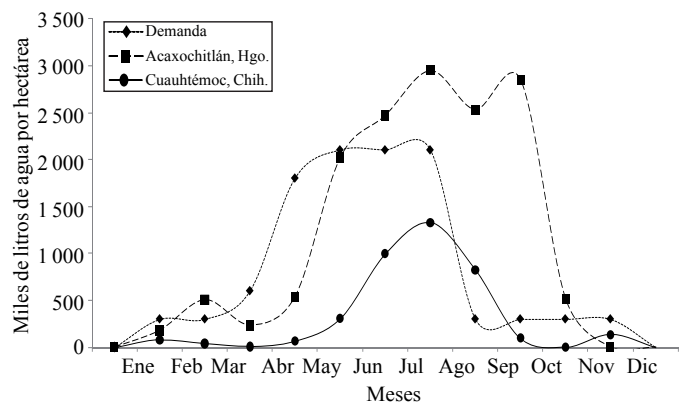
**Rediseño de agroecosistemas.** Es indudable hasta este momento que los agroecosistemas, sobre todo los del norte de México van a requerir un nuevo diseño, si es que existió uno previo; de lo contrario simple y sencillamente se debe de diseñar con base a una nueva realidad. Se desconoce el impacto del cambio climático sobre los organismos benéficos, pero sin duda también están siendo impactados por la elevación de la temperatura y del uso de agroquímicos. El sistema de producción de manzano se está transformando en un sistema de producción bajo condiciones climáticas marginales usando la terminología de Melugin-Coakley *et al.* (1999).

El rediseño de los agroecosistemas o las posibilidades de adecuaciones con base en riesgos se ha realizado en aquellos agroecosistemas como café y plátano que son esenciales para un país (Alves *et al.*, 2011). El reanálisis de datos de clima y sus tendencias está siendo importante en China, país con 9.6 millones de km<sup>2</sup>, y con 731 estaciones meteorológicas del sistema nacional de clima en todo el territorio (Mao *et al.*, 2010); México con 1.9 millones de km<sup>2</sup>, cuenta con al

63.04 kg ha<sup>-1</sup> were used, the increase was 37% in seven years. The equivalent of this increase was a raise of 3% of the total costs of pest control per year per hectare. From an annual average of 17% of the total production costs dedicated to pest management, the increased volume of pesticides for the control of *Cydia pomonella*, raised the cost of pest control until, constitute 21% of the total costs of production.

**New producing areas.** In a study conducted in 2005 and 2006 in a production system under rainfed conditions in Hidalgo and Estado de Mexico, it was determined that, producing a kilogram of high quality apples had a cost of \$ 0.40 for the Golden Delicious cultivar and \$ 0.46 for Red Delicious (Ramírez *et al.*, 2007a). The paper also noted that, the CU accumulation during those Winters was of 900 and 1 000. The low costs of production are due to several factors, but there are three very important ones: high content of organic matter in soils, chilling accumulation and, rainfed covering crop needs (Ramírez *et al.*, 2007b).

The Figure 6 shows three aspects: the annual water demand of apple, its distribution and, the rainwater amount in Cuauhtémoc, Chihuahua and in Acaxochitlan, Hidalgo, Mexico. The demand is 2.7 times the supply of rain in Chihuahua, while in Hidalgo the supply of rain is 1.4 times the demand of the apples. If this event is accompanied by soils with organic matter between 3 and 7% and, 10m depths, the agroecological advantage is quite obvious in relation to Chihuahua.



**Figura 6. Miles de litros de agua por hectárea demandados por el manzano y disponibilidad por lluvia en Acaxochitlán, Hidalgo y Cuauhtémoc, Chihuahua, 2005 y 2006.**

**Figure 6. Thousands of water liters per hectare demanded by apple trees and, its availability by rain in Acaxochitlan, Hidalgo and Cuauhtémoc, Chihuahua, in 2005 and 2006.**

menos 852 estaciones distribuidas a nivel nacional como base fundamental para planear acciones basadas en el comportamiento del clima (Poyar y Beller-Simms, 2010) y el desarrollo de modelos de crecimiento (Williams *et al.*, 2010) que permitan un nuevo esquema de desarrollo de los agroecosistemas (Gruia, 2010; Prato *et al.*, 2010).

Es importante, que productores y sociedad entiendan el proceso que se aproxima (Cooper, 2010; Speck, 2010) y el cambio de conceptos de uso de tierra (Mansergh, 2010), la predominancia de enfoques más de largo que de corto plazo (Boyd, 2010), así como necesarias regulaciones en el uso y consumo de agua (Craig, 2010).

Aunque el sistema de producción moderno de manzano, se ha convertido en un cultivo con una duración máxima de 10-12 años con los nuevos portainjertos enanos y cultivares de maduración temprana, en Chihuahua es muy baja la superficie plantada con esos materiales genéticos, hace 5 años se estimaban solamente 50 hectáreas bajo estas condiciones de manejo de las 30 000 oficialmente reconocidas (Ramírez *et al.*, 2006), y el avance no ha sido significativo por lo elevado del costo inicial de plantación.

## CONCLUSIONES

En el futuro existirá más temperatura, menos agua, aumento de las densidades de plagas, nuevas plagas emergentes, mayor uso de insecticidas, mayores costos de producción y mayores riesgos para la salud humana, por lo cual se deben de rediseñar nuevos métodos de producción.

## LITERATURA CITADA

- Alonso, J. M.; Ansón, J. M.; Espiau, M. T. y Socias, R. 2005. Determination of endodormancy in almond flower buds by a correlation model using the average temperatures of different day intervals and its application to the estimation of chill and heat requirements and blooming date. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 130(3):308-318.
- Alves, M. C.; Carvalho de, L. G.; Pozza, E. A.; Sanchez, L. and S. Maia de, J. C. 2011. Modelling plant disease risk areas based on Brazilian climate change scenarios. *J. Environ. Sci. Eng.* 5(2):333-343.

The approach of the production system in the Hidalgo's agroecosystem would have to be different, than the production system of Chihuahua, in fact it is; instead of large areas, there have to be small orchards with high plant densities.

**Redesigning agroecosystems.** At this point, the agroecosystems, especially in northern Mexico will require a new design, if it ever existed one; otherwise, it should be designed based on the new reality. The impact of climate change on beneficial organisms is unknown, but certainly they are also being impacted by the rise temperature and, the agrochemicals usage. The apple production system is being transformed into a production system under marginal weather conditions, using the terminology of Melugin-Coakley *et al.* (1999).

Redesigning the agroecosystems or the possibility of risk-based, adjustments has been made in agroecosystems, such as coffee and bananas, which are essential for a country (Alves *et al.*, 2011). Reanalysis of weather data and, its trends are important in China, with 9.6 million km<sup>2</sup> and 731 meteorological stations of the national weather system throughout the country (Mao *et al.*, 2010); Mexico with 1.9 million km<sup>2</sup>, has at least 852 stations distributed nationwide as a fundamental basis to plan activities based on weather patterns (Poyar and Beller-Simms, 2010) and, the development of growth models (Williams *et al.*, 2010) that allow a new scheme of agro-ecosystems development (Gruia, 2010; Prato *et al.*, 2010).

It is important that, the producers and society understand the process that is approximating (Cooper, 2010; Speck, 2010) and, the change in land-use concepts (Mansergh, 2010), the prevalence of approaches of longer term, rather than short-term (Boyd, 2010) as well as necessary regulations on the use and consumption of water (Craig, 2010).

Although, the modern production system of apples has become in a culture with a maximum of 10-12 years with new dwarf rootstocks and, early maturing cultivars, Chihuahua has a very low area planted with these genetic materials; 5 years ago only 50 hectares were estimated under these management conditions out of the 30 000 officially recognized (Ramírez *et al.*, 2006), and progress has not been significant due to the high initial cost of planting.

- Anderson, J. L.; Ashcroft, G. J.; Richardson, E. A.; Alfaro, J. F.; Griffin, R. E.; Hanson, G. R. and Keller, T. 1975. Effects of evaporative cooling on temperature and bud development of apple buds. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 100(2):229-231.
- Anstey, T. H. 1965. Prediction of full bloom date for apple, pear, cherry, peach and apricot from air temperature data. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 88(1):57-66.
- Amiri, M. J. and Eslamian, S. S. 2010. Investigation of climate change in Iran. 2010. *J. Environ. Sci. Technol.* 3(4):208-216.
- Barfield, B. J.; White, G. M.; Bridges, T. C. and Chaplin, C. 1977. Improving water use in sprinkling for bloom delay. *Am. Soc. Agric. Biol. Eng.* 20(4):688-691.
- Beers, E. H., Brunner, J. F., Willet, M. J., and Warner, G. M. 1993. Orchard pest management. *Good Fruit Grower*. Yakima, Washington, USA. 276 p.
- Bentz, B. J.; Régnière, J.; Fettig, C. J.; Hansen, E. M.; Hayes, J. L.; Hicke, J. A.; Kelsey, R. G.; Negrón, J. F. and Seybold, S. J. 2010. A climate change and bark beetles of the Western United States and Canada: direct and indirect effects. *BioScience*. 60(8):602-613.
- Bothelo, R. V. and Müller, M. M. L. 2007. Evaluation of garlic extract on bud dormancy release of 'Royal Gala' apple trees. *Aust. J. Exp. Agric.* 47(3):738-741.
- Butler, A. H.; Thomson, D. W. J. and Heikes, R. 2009. The steady-state atmospheric circulation response to climate change-like thermal forcings in a simple general circulation model. *J. Clim.* 23(2):3474-3496
- Boyd, E. 2010. Societal choice for climate change futures: trees, biotechnology and clean development. *BioScience*. 60(9):742-750.
- Cannell, M. G. R. and Smith, R. I. 1986. Climatic warming, spring budburst and frost damage on trees. *J. Appl. Ecol.* 23(1):177-191.
- Carvajal, M. E.; Goycoolea, V. F.; Guerrero, P. V.; Llamas, L. J.; Rascón, C. A.; Orozco, A. A.; Rivera, F. C. y Gardea, B. A. 2000. Caracterización calorimétrica de la brotación de las yemas florales de manzano. *Agrociencia*. 34(5):543-551.
- Choi, W. I. and Ryoo, R. I. 2003. A matrix model for predicting seasonal fluctuations in field populations of *Paronychiurus kimi* (Collembola: Onychiridae). *Ecol. Modell.* 162(10):259-265.
- Cooper, C. B. 2010. Media literacy as a key strategy toward improving public acceptance of climate change science. *BioScience*. 61(3):231-237.

## CONCLUSIONS

In the future, there will be higher temperatures, less water, higher pest densities, new emerging pests, increased use of insecticides, increased production costs and, greater risks to human health; so, new production methods should be designed.

*End of the English version*



- Craig, R. K. 2010. Stationary is dead-long live transformation: five principles for climate change adaptation law. *Harvard Environmental Law Review*. 34(1):10-73.
- Degrandi-Hoffman, G.; Thorp, R.; Loper, G. and Eisikowitch, D. 1996. Describing the progression of almond bloom using accumulated heat units. *J. Appl. Ecol.* 33(3):812-818.
- Faust, L. F. and Weston, P. A. 2009. Degree-day prediction of adult emergence of *Photinus carolinus* (Coleoptera: Lampyridae). *Environ. Entomol.* 38(5):1505-1512.
- Fortis, H. M.; Leos, R. J. A.; García, S. J. A.; Salazar, S. E., Preciado, R. P.; Segura, C. M. A. y Orozco, V. J. 2009. El mercado de agua en la comarca lagunera. *In: Manejo comparado de cuencas hidrológicas. Incertidumbre climática, vulnerabilidad ecológica y conflicto social*. González, B. J. L.; Sánchez, C. I. (eds.). SMCS-CONACyT-INIFAP. Torreón, Coahuila, México. 200-226 pp.
- García-Salazar, C. 1980. Desarrollo fenológico del manzano y la fenología de la palomilla del manzano *Laspeyresia pomonella* L. en la región de la Sierra de Chihuahua. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México. 96 p.
- Gilreath, P. R. and Buchanan, D. W. 1979. Evaporative cooling with overhead sprinkling for rest termination for peach trees. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 92(1):262-264.
- Gordo, O. and Sanz, J. J. 2010. Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems. *Global Change Biology*. 16(9):1082-1106.
- Gruia, R. 2010. Modular agriculture-paradigm of globalization dynamics within the context of climatic and scientific changes. *Environ. Eng. Manage. J.* 9(12):1601-1606.
- Hannukala, A. O.; Kaukoranta, T.; Lehtinen, A. and Rahkonen, A. 2007. Late-blight epidemics on potato in Finland, 1933-2002; increased and earlier occurrence of epidemics associated with climate change and lack of rotation. *Plant Pathol.* 56(1): 167-176.

- Hunter, A. F. and Lechowicz, M. J. 1992. Predicting the timing of budburst in temperate trees. *J. Appl. Ecol.* 29(3):597-604.
- Knight, A. L.; Beers, E. H. and Elsner, E. A. 1991. Modeling postdiapause egg and nymphal development of the white apple leafhopper (Homoptera:Cicadellidae). *Environ. Entomol.* 20(6):1659-1664.
- Lizárraga, C. C.; Sabori, J.; Rodríguez, J. L.; Saiz, H. J. A. y Watts, C. 2009. Tendencias del sistema monzón norteamericano en México. *In: Manejo comparado de cuencas hidrológicas. Incertidumbre climática, vulnerabilidad ecológicas y conflicto social.* González, B. J. L.; Sánchez, C. I. (eds.). SMCS-CONACyT-INIFAP. Torreón, Coahuila, México. 8-22 pp.
- Mansergh, I. 2010. Perceptions of weeds in changing contexts. Land-use change, landscape value change and climate change in south-eastern Australia: adaptation to change in the third century of the timeless land. *Plant Prot. Quarterly.* 25(4):173-185.
- Mao, J.; Shi, X.; Ma, L.; Kaiser, D. P.; Li, Q. and Thornton, P. E. 2010. Assessment of reanalysis daily extreme temperatures with China's homogenized historical dataset during 1979-2001 using probability density functions. *J. Clim.* 23(12):6605-6623.
- Melugin-Coakley, S.; Scherm, H. and Chkraborty, S. 1999. Climate change and plant disease management *Annu. Rev. Phytopathol.* 37:399-496.
- Orlandi, F.; García-Mozo, H.; Vázquez-Esquerria, L.; Romano, B.; Domínguez, E.; Galan, C. and Fornaciari, M. 2004. Phenological olive chilling requirements in Umbria (Italy) and Andalusia (Spain). *Plant Biosystems.* 138(2):111-116.
- Orozco, C. A. L. 2010. Uso eficiente del agua de riego mediante sondas de capacitancia. *Aqua-Lac.* 2(1):56-66
- Poyar, K. A. and Beller-Simms, N. 2010. Early responses to climate change: an analysis of seven U.S. state and local climate adaptation planning initiatives. *Weather Clim. Soc.* 2(7):237-248.
- Prato, T.; Zeyuan, Q.; Pederson, G.; Fagre, D.; Bengtson, L. E. and Williams, J. R. 2010. Potential economic benefits of adapting agricultural production systems to future climate change. *Environ. Manage.* 45(2):577-589.
- Proebsting Jr., E. L. and Mills, H. H. 1978. Low temperature resistance of developing flower buds of six deciduous fruit species. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 103(1):192-198.
- Parra, Q. R. A.; Ortiz, F. P.; Amado, A. J. P. y Chávez, S. N. 2009. Productividad y crecimiento de manzano bajo déficit de riego controlado. *Terra Latinoam.* 27(4):337-343. Pimentel, D.; Houser, J.; Preiss, E.; White, O.; Fang, H.; Mesnick, L.; Barsky, T.; Tariche, S.; Schreck, J. and Alpert, S. 1997. Water resources: agriculture, the environment, and society. An assessment of the status of water resources. *BioScience.* 47(2):97-106.
- Ramírez, L. M. R.; Jacobo, C. J. L.; Ávila, M. M. R.; Parra, Q. R. A.; Zacatenco, G. M. G. y Romo, C. A. 2009a. Incidencia de inóculo y variables climáticas como herramientas en la toma de decisiones de manejo del tizón de fuego, en la floración del manzano. *Rev. Mex. Fitopatol.* 27(2):123-133.
- Ramírez, L. M. R.; Jacobo, C. J. L.; Parra, Q. R. A.; Zacatenco, G. M. G. y Ávila, M. M. R. 2009b. Efecto del cambio climático sobre el sistema de producción de manzano y la búsqueda de áreas alternativas de producción. *In: V Congreso Nacional del Sistema Producto Durazno.* Amador, R. M.; Fernández, M. M. R. y Mondragón, J. C. (eds.). Zacatecas, México. 21-34 pp.
- Roblero, C. A. E.; Martínez, R. J. G. y Álvarez, R. V. P. 2010. Impacto del cambio climático sobre la disponibilidad de agua y producción de maíz en la Comarca Lagunera. *Revista Agrofaz.* 47-56 pp.
- Rodríguez, E. T. 2006. El ciclo hidrológico y los acuíferos. *In: Planificación y gestión de recursos hídricos.* García, S. S. G.; Gómez, P. A. y Martínez, A. B. (eds.). CEMCAM-Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, España. 3-60 pp.
- Ramírez, L. M. R.; Jacobo, C. J. L.; Sánchez, C. E. y Soto, P. J. M. 2002. Curva de epidemia de cenicilla del manzano como indicador en la toma de decisiones para el uso de fungicidas. *Agríc. Téc. Méx.* 28(1):15-21.
- Ramírez, L. M. R. y Jacobo, C. J. L. 2002. Impacto ambiental del uso de plaguicidas en huertos de manzano del noroeste de Chihuahua, México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 20(2):168-173.
- Ramírez, L. M. R.; Jacobo, C. J. L.; Ávila, M. M. R. y Parra, Q. R. A. 2004. Eficiencia del uso de plaguicidas en huertos de manzano [*Malus sylvestris* (L.) Mill. Var. *domestica* (Borkh.) Mansf.] en Chihuahua, México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 22(3):402-413.
- Ramírez, L. M. R.; Jacobo, C. J. L.; Ávila, M. M. R. y Parra, Q. R. A. 2006. Pérdidas de cosecha, eficiencia de producción y rentabilidad de huertos de manzano con diversos grados de tecnificación en Chihuahua, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(3):215-222.

- Ramírez, L. M. R.; Jacobo, C. J. L.; Zacatenco, G. J. L.; Parra, Q. R. A. y Ávila, M. M. R. 2007a. Susceptibilidad de tres cultivares de manzano y manejo de la roña del manzano en sistemas de producción del Estado de Hidalgo, México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 25:163-168.
- Ramírez, L. M. R.; Jacobo, C. J. L.; Zacatenco, G. J. L.; Parra, Q. R. A.; Ávila, M. M. R. y Ortíz, F. P. 2007b. Manejo de la roña del manzano en sistemas de producción del estado de Hidalgo y su potencial como productor de manzana. INIFAP. Pachuca, Hidalgo, México. Folleto científico. Núm. 1. 36 p.
- Ramírez, L. M. R.; Jacobo, C. J. L.; Gardea, B. A. A. y Parra, Q. R. A. 2008. Modelo de desarrollo floral en manzanos Red Delicious y Golden Delicious como herramienta de toma de decisiones en el manejo integrado de enfermedades. *Rev. Mex. Fitopatol.* 26(2):153-163.
- Sánchez, C. I. 2005. Fundamentos para el manejo integral del agua. INIFAP-CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango, México. Libro científico. Núm. 2. 272 p.
- Sholberg, P. L.; Lane, W. D.; Haag, P.; Bedford, K. and Lashuk, L. 2001. A novel technique for evaluation of Apple (*Malus x domestica* Borkh.) cultivars for susceptibility to powdery mildew. *Can. J. Plant Sci.* 81(1):289-296.
- Singh-Rana, R.; Bhagat, R. M.; Kalia, V. and Lal, H. 2009. Impact of climate change on shift of apple belt in himachal pradesh. *In: impact of climate change on agriculture.* Panigrahy, S.; Ray, S. S. and Parihar, S. J. (eds.). Ahmedabad, India. Int. Soc. Photogramm. Remote Sens. 131-137 pp.
- Speck, D. L. 2010. A hot topic? Climate change mitigation policies, politics, and the media in Australia. *Human Ecol. Rev.* 17(2):125-134.
- Steiner, P. W. and Lightner, G. 1996. MARYBLYT™ 4.3. A predictive program for forecasting fire blight disease in apples and pears. Gempler's Inc. Bellevill, Winsconsin, USA. 53 p.
- Tiyayon, C. 2009. A Microscopic and phenological study of pollen development and bloom in selected cultivars of hazelnut (*Corylus avellana*). Ph. D. in Plant Physiology Thesis. Oregon State University. Corvallis, Oregon, USA. 106 p.
- Williams, A. P.; Michaelsen, J.; Leavitt, S. W. and Still, C. J. 2010. Using tree rings to predict the response of tree growth to climate change in the Continental United States during the twenty-first century. *Earth Int.* 14(1):1-20.