



MANUAL DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DEL AZAFRÁN EN LA PAMPA DEL TAMARUGAL

**PAMPA DEL TAMARUGAL 2019
IQUIQUE - CHILE**



GOBIERNO REGIONAL
TARAPACÁ



CORE
TARAPACÁ

UNAP

UNIVERSIDAD ARTURO PRAT
DEL ESTADO DE CHILE



Chile
en marcha



Fundación para la
Innovación Agraria

Serie Agricultura del Desierto

Esta publicación fue realizada en el contexto del proyecto "Diversificación de la oferta agrícola en la provincia del Tamarugal a través de la introducción del cultivo del Azafrán (*Crocus sativus* L.) en el desierto chileno", con el apoyo de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), a través del Fondo de Innovación para la Competitividad, FIC-R Tarapacá.

Primera Edición, Octubre de 2019.

Registro de propiedad Intelectual N° 308472

ISBN N° 978-956-328-239-9

Impresión: 100 ejemplares

Imprenta: GRACAM - IQUIQUE - CHILE

Permitida la reproducción parcial o total citando la fuente.

Equipo de editores:

José Delatorre Herrera
José Delatorre Castillo
Isabel Sepúlveda Soto
Christopher Low Pfeng

Equipo de autores:

Jorge Arenas Charlín
José Delatorre Herrera
José Delatorre Castillo
Cristián Holzmann Illanes
Christopher Low Pfeng
María Isabel Oliva Ekelund
Isabel Sepúlveda Soto
Víctor Tello Mercado

Supervisión técnica FIA:

Fernando Arancibia Martínez
Ignacio Delfino Yurin

Comité editor FIA:

Constanza Mantelli de la Fuente
Andrea Jofre Soto

Edición y Diseño:

José Delatorre Castillo

Revisión de forma:

Gladys Castro Vargas

PRESENTACIÓN DIRECTOR EJECUTIVO FIA

La Fundación para la Innovación Agraria (FIA) es la agencia del Ministerio de Agricultura que tiene por misión fomentar una cultura de innovación en el sector agrario, agroalimentario y forestal, a través de la promoción y articulación de iniciativas de innovación que contribuyan a aumentar la competitividad del sector, especialmente en la pequeña y mediana agricultura.

Innovar significa agregar valor, con el fin de que los productores puedan enfrentar de mejor manera los desafíos propios y nuevos de su trabajo en el campo.

El azafrán se presenta como una alternativa para mitigar los efectos del cambio climático y potenciar la diversificación económica de la agricultura, especialmente ligada a la agricultura familiar campesina (AFC). Es, por un lado, un cultivo con bajísimo requerimiento hídrico y resistente a las heladas. Por otro lado, es la especia más cara del mundo, cada kilo cuesta cerca de USD 3.800. Se obtiene entre 18 y 22 kilos de azafrán por hectárea en alta densidad, por lo que es altamente rentable para pequeños agricultores, con áreas cultivables de una hectárea o incluso menos, pues genera un alto retorno económico.

Es por esto que FIA ha apostado con fuerza por la introducción de este cultivo a nuestro país. A la fecha, la Fundación ha impulsado y apoyado proyectos que han permitido el pilotaje del azafrán en la zona central (Valle de Casablanca), en el desierto de Atacama y en la Araucanía.

Este es un manual orientado a dinamizar la incorporación del azafrán como un cultivo viable y competitivo a nivel mundial para los pequeños productores de nuestro país. En ese esfuerzo está la creación de este libro que FIA ha querido impulsar, para transferir conocimiento e información prospectiva a los actores del sector con el fin de seguir contribuyendo a dinamizar la introducción de este cultivo a nuestro país.

Álvaro Eyzaguirre P.
Director ejecutivo
Fundación para la Innovación Agraria – FIA

PRESENTACIÓN RECTOR UNAP

Entre octubre del 2017 a julio de 2019, investigadores del área de Agricultura del Desierto de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Arturo Prat, ejecutaron el proyecto “Diversificación de la oferta agrícola en la Provincia del Tamarugal a través de la introducción del cultivo del Azafrán (*Crocus sativus* L.) en el desierto chileno”, el cual fue financiado por el Fondo de Innovación para la Competitividad, FIC-R Tarapacá a través de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA). El azafrán un cultivo desconocido para el desierto chileno, en particular para la Pampa del Tamarugal, se constituyó en el desafío de investigación para el equipo de Ingenieros agrónomos e Ingenieros en Biotecnología que conformaron este grupo de profesionales. Las preguntas como se adaptará el azafrán a las condiciones del desierto y que mejoras técnicas requiere para optimizar su producción fue lo que se buscó responder.

Para esto, en colaboración con agricultores se montaron ensayos en diferentes lugares de la Pampa del Tamarugal, partiendo por el norte de ella, en el sector de Bajo Soga, luego con parcelas en La Tirana, La Huayca, Canchones, Pica y el sector sur en Pintados. Los resultados muestran que el azafrán es un cultivo que se adapta las condiciones del desierto chileno, en particular a la Pampa del Tamarugal, y que puede ser una alternativa rentable para la agricultura familiar o de pequeños agricultores. Sin embargo, también requiere de la asociatividad entre los productores, los servicios e instituciones que fomentan y den asistencia técnica.

La UNAP siempre comprometida con el desarrollo regional, mantiene su disposición a colaborar en el campo de la investigación y asistencia técnica para los agricultores y entidades de apoyo técnico que permita convertir la Pampa del Tamarugal en una zona productora de la especia más cara del mundo, y que sea reconocida por la calidad de este.

Como rector de la Universidad Arturo Prat, agradezco a las instituciones que financiaron esta iniciativa al mismo tiempo que felicito al equipo ejecutor de este proyecto, por los logros obtenidos.

Gustavo Soto Bringas
Rector
Universidad Arturo Prat

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	Introducción: El azafrán en el mundo	15
1.1	Historia	16
1.2	Usos medicinales	17
1.3	Origen botánico	18
1.4	Situación actual	19
1.5	Futuro del azafrán	20
2.	Clima y condiciones para el establecimiento del azafrán en la Pampa del Tamarugal	21
2.1	Latitud y época de cosecha del cultivo	21
2.2	Temperaturas	23
2.3	Humedad Relativa	25
2.4	Días Grado (DG)	26
2.5	Horas frío	27
3.	Suelos y agua	29
4.	Fisiología del azafrán	33
4.1	Patrón de crecimiento	33
4.2	El efecto de las temperaturas	35
4.3	Estados fenológicos del azafrán	35
5.	Respuesta adaptativa del Azafrán introducido contra estación en la Pampa del Tamarugal	38
5.1	Floración	38
5.2	Cosecha	39
5.3	Desarrollo vegetativo	41
5.4	Dormancia y receso	42
5.5	Calibre de cormos	43
5.6	Cosecha de cormos	44
5.7	Inducción floral	45
6.	Requerimientos Hídricos del cultivo y Riego apropiado	47
6.1	Escalas de trabajo	47
6.2	Evapotranspiración de referencia (<i>ET_r</i>) del sector	47
6.3	Evapotranspiración del cultivo (<i>ET_c</i>) para el Azafrán en la localidad de Canchones	49

6.4	Calcular las demandas de riego	53
7.	Manejo agronómico del azafrán en la Pampa del Tamarugal	54
7.1	Material Vegetal	54
7.2	Época de plantación	55
7.3	Preparación del terreno	56
7.4	Sistema de riego	56
7.5	Exigencias lumínicas	57
7.6	Siembra y densidad de siembra	59
7.7	Fertilización	60
8.	Plagas y enfermedades	61
8.1	Introducción	61
8.2	Plagas	61
	8.2.1 Gusano cortador <i>Spodoptera frugiperda</i>	61
	8.2.2 Manejo de <i>Spodoptera frugiperda</i>	63
8.3	Ácaro del bulbo del azafrán	64
	8.3.1 Manejo de ácaros	65
8.4	Trips	66
	8.4.1 Daños ocasionados por trips	67
	8.4.2 Alternativas de manejo de trips	67
8.5	Enfermedades fungosas	68
9.	Multiplicación y mejoramiento del cultivo	71
9.1	Multiplicación convencional	71
9.2	Cultivo en mangas	73
9.3	Cultivo <i>in vitro</i>	74
9.4	Mejoramiento genético	76
10.	Manejo Postcosecha	77
10.1	Cosecha del Azafrán	77
10.2	Factores de la cosecha que afectan la calidad	78
10.3	Desbrizne	78
10.4	Procedimiento de secado	80
11.	Envases	83

12. Calidad del Azafrán	88
12.1 Características de la calidad del azafrán	88
12.2 Especificaciones de las normas de calidad del azafrán	88
12.3 Técnicas para la determinación de adulteraciones: TLC, HPLC, análisis microscópico	89
12.4 Técnicas para la determinación de componentes extraños al producto	91
12.4.1 Residuos de pesticidas	91
12.4.2 Microbiológico	92
12.5 Calidad del azafrán de la Pampa del Tamarugal	92
13. Usos Medicinales	93
14. Usos alimenticios del Azafrán	95
14.1 El sector alimenticio.	95
14.2 Propiedades y usos de los condimentos	96
14.3 Condimentos para la cocina	96
14.4 El azafrán en la cocina	97
15. Bibliografía	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Azafrán en floración	16
Figura 2. Pinturas con frescos minoicos	16
Figura 3.- Temperaturas promedio por mes registradas en la Estación Canchones	24
Figura 4.- Humedades relativas por mes registradas en la Estación Canchones	25
Figura 5. Días grado registrados por mes en la Estación Canchones	26
Figura 6. Horas Frío registradas por mes en la Estación Canchones	28
Figura 7. Cormos de azafrán creciendo en suelos salinos en la Estación Experimental Canchones	30
Figura 8. Suelo típico de la Pampa del Tamarugal	30
Figura 9. Etapas fenológicas en los diferentes ciclos de cultivos en el proceso de adaptación	34
Figura 10. Estadios fenológicos en azafrán	37
Figura 11. Floración de Azafrán en Estación Experimental Canchones	39
Figura 12. Humedades relativas diarias en el mes de cosecha (abril)	40
Figura 13. Cosecha de flores de Azafrán en Estación Experimental Canchones	40
Figura 14. Crecimiento vegetativo del azafrán en la Pampa del Tamarugal	41
Figura 15. Planta de Azafrán entrando en receso en Estación Experimental Canchones	42
Figura 16. Cormos de diferentes calibres cosechados en Estación Experimental Canchones	44
Figura 17. Cosecha de cormos en Estación Experimental Canchones	45
Figura 18. Cormos de azafrán cosechado y almacenados	46

Figura 19. Evapotranspiración de referencia (<i>E_{Tr}</i>) para la Estación Canchones. (A) Requerimientos mensuales promedio. (B) Requerimientos por año para el mes de abril	48
Figura 20. Cormos proveídos por Kelumilla SpA importados desde Holanda	54
Figura 21. Preparación de suelos en parcelas demostrativas en Estación Experimental Canchones	56
Figura 22. Sistema de riego por cintas	57
Figura 23. Parcela de azafrán cubierta con malla en Estación Experimental Canchones	58
Figura 24. Siembra de cormos de azafrán en Estación Experimental Canchones	59
Figura 25. Polilla dimorfismo sexual en los colores de las alas anteriores	62
Figura 26. Reconocimiento de Larvas de <i>Spodoptera frugiperda</i>	62
Figura 27. Hembra adulta de <i>Rhizoglyphus robini</i> y <i>Rhizoglyphus echinopus</i>	65
Figura 28. Hembra adulta de <i>Thrips</i>	67
Figura 29. <i>Fusarium oxysporum</i>	70
Figura 30. Cormos de diferentes calibres producidos en la Pampa el Tamarugal	71
Figura 31. Cormo madre y sus cormillos	72
Figura 32. Sistema de mangas	73
Figura 33. Manga con cormos entrando en receso	74
Figura 34. Explantes de cormos sembrados en medio de crecimiento	75
Figura 35. Cormos producidos <i>in vitro</i>	75
Figura 36. Forma de tomar la flor	78
Figura 37. Desbrizne de flores de azafrán	79
Figura 38. Proceso de desbrizne en flores de azafrán	79
Figura 39. Forma de extraer los estigmas	80
Figura 40. Secado del azafrán	81
Figura 41. Azafrán Fresco y especia	82
Figura 42. Tipos de envases para el azafrán	85
Figura 43. Envases azafrán del Tamarugal	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Latitudes de principales zonas con cultivo de azafrán y comparación con ensayo realizado en Estación Canchones	22
Tabla 2. Largo del día durante el mes de cosecha para los distintos lugares de plantación	23
Tabla 3. Días Grado por mes para el período abril-septiembre en la Estación Canchones	26
Tabla 4. Caracterización química de suelos en diferentes predios de la Pampa del Tamarugal, previo a la siembra de cormos	31
Tabla 5. Caracterización química de agua de los predios de agricultores sector la Tirana	32
Tabla 6. Calibres de cormos productivos	43
Tabla 7. Valores del K_c para el cultivo del azafrán	49
Tabla 8. Cálculo la tasa de riego por ser aplicada en el cultivo del azafrán por día durante el mes de abril	51
Tabla 9. Cálculo de las tasas de riego por ser aplicada en el cultivo del azafrán durante el período marzo – octubre	52
Tabla 10. Cálculo de las tasas de riego por ser aplicada mediante goteo y surco en el cultivo del azafrán durante el período marzo – octubre	53
Tabla 11. Ciclo de plantaciones de cormos de azafrán para su adaptación a la Pampa del Tamarugal	55
Tabla 12. Dosis de aplicación del producto comercial (formulado) para el control de <i>Spodoptera frugiperda</i> en azafrán	64
Tabla 13. Dosis de aplicación del producto comercial (formulado) para el control de <i>Rhizoglyphus echinopus</i> en azafrán	66
Tabla 14. Dosis de aplicación del producto comercial (formulado) para el control de trips en azafrán	68
Tabla 15. Dosis de aplicación para la desinfección de cormos de azafrán contra <i>Fusarium sp</i> y <i>Rhizoctonia sp</i> en azafrán	69
Tabla 16. Especificaciones de calidad del azafrán	89
Tabla 17. Formas de adulteración del azafrán	90
Tabla 18. Carga microbiana aceptable en los condimentos	92

1. Introducción: El azafrán en el mundo

Ingeniero Bioquímico

Dr. Cristian Holzmann Illanes

El azafrán es la especia más cara del mundo, es usada desde la antigüedad por su aroma y su capacidad de dar un tono amarillo a las preparaciones culinarias y textiles [1]. Durante las últimas décadas, también se han explorado las diversas propiedades medicinales de la especie [2]. Esta especia se obtiene del estigma deshidratado de *Crocus sativus* L., una planta perteneciente a la familia de las Iridáceas. Es una planta de triploide estéril y puede ser clasificada como una fanerógama o plantas con semillas a pesar de no producirla, una angiosperma o plantas con flores y monocotiledónea. En el campo se comporta como una herbácea plurianual que posee un órgano subterráneo, un cormo de aspecto carnoso y sólido. Se considera una especie domesticada por el humano, puesto que su supervivencia es insostenible sin la intervención humana.

Sus flores emergen desde los cormos durante el otoño, son flores hermafroditas regulares, con sépalos y pétalos de color morado, situado en el extremo de un tubo corto. El pistilo está formado por un estilo terminado en un estigma flexible y que al final de este se divide en tres midiendo de 20 a 50 mm de longitud, aromáticas de sabor amargo, algo picantes y de color rojo intenso, que constituyen lo que se conoce como azafrán. Los estambres, más largos son de 20-23 mm, de color amarillo, erguidos y de maduración más tardía. Sépalos, pétalos, estambres y tallo forman un subproducto sin mayor valor comercial. (Figura 1). La esterilidad del cultivo y su propagación vegetativa impidieron después la segregación de los rasgos favorables del azafrán, lo que dio como resultado el cultivo mundial de un único linaje clonal.



Figura 1. Azafrán en floración. Fuente: Propia.

1.1 Historia.

Aún no se sabe a ciencia cierta cuál es la antigüedad del uso del azafrán. Sus primeras documentaciones se encuentran en los frescos minoicos de 3.600 años de las islas del sur del mar Egeo, Creta y Santorini. (Figura 2)



Figura 2. Pinturas con frescos minoicos. Fuente: Blog tánico.

Existen diferentes hipótesis sobre el origen del azafrán. Algunos documentos de investigación han demostrado que Irán sería el lugar de origen del azafrán que originalmente creció silvestre al pie de las montañas Zagros y en las áreas circundantes de Alvand. El azafrán de crecimiento silvestre llamado "*Jo Ghasem*", al que se hizo referencia por primera vez como "*Karkomiseh*" en Farsi, se parece mucho al azafrán común. Por ejemplo, el cormo, las hojas, el estambre y el estilo en *Crocus* son muy similares a los de *Gouishi*; sin embargo, su estilo corto y su bajo olor no tienen valor económico [3]. Durante el siglo IX hubo una amplia difusión en los países árabes. El azafrán fue introducido a Andalus (España Islámica) por los musulmanes y posteriormente a Saqaliyah (Sicilia) en el período de expansión del islam. Se piensa que grupos de Partianos (Zoroastrains) migraron a la India (500–600 d.C.) introdujeron el azafrán en Cachemira en el subcontinente indio. Ya en el siglo XV, el azafrán empezó a ser cultivado en regiones de habla alemana y francesa donde son cultivados hasta hoy. Posteriormente, el azafrán se introdujo en Inglaterra en los alrededores de la zona de Bude. El cultivo de azafrán se extendió hasta Essex. Donde incluso la localidad de Chipping Walden cambió su nombre a Saffron Walden.

Por estas razones durante muchos años, se pensó en Asia Central, Irán y la India como los posibles países de origen del azafrán. Desde la perspectiva de la botánica, la hipótesis inicial sobre su origen es refutada, pues ahora se dice que Creta pudo ser la fuente de origen del azafrán.

1.2 Usos medicinales.

Alrededor del siglo XIV se descubre la importancia del azafrán en medicina donde fue mencionada en un libro de texto médico, como un remedio para la depresión y promover la actividad cerebral. Causa una predisposición a la alegría, al buen estado de ánimo.

1.3 Origen botánico.

El azafrán cultivado es un triploide macho-estéril, mientras que sus parientes más cercanos son diploides [4]. El estigma del azafrán es más largo y de color más oscuro que el de sus parientes silvestres y el aroma es más pronunciado en el cultivar. Esta similitud general entre *C. sativus* y *C. cartwrightianus* fue muchas veces la razón para suponer que *C. cartwrightianus*, también llamado azafrán silvestre, es el antecesor del cultivo [5,6,7]

Sin embargo, hay otras especies similares y los datos moleculares fueron inconsistentes con respecto a la contribución de posibles taxones parentales. Además de *C. cartwrightianus* también se habían propuesto como posibles antecesores a *C. almehensis*, *C. hadriaticus*, *C. haussknechtii*, *C. mathewii*, *C. michelsonii*, *C. pallasii*, *C. serotinus* y *C. thomasii* [8].

Los triploide se pueden formar a través de la autoploidización de un solo progenitor [9,10] o la aloploidización que involucra a dos especies parentales [11,12]. En azafrán se realizó un estudio que infiere las relaciones filogenéticas de las especies de la serie *Crocus*, que es el grupo taxonómico al que pertenece *C. sativus*, se encontró que *C. cartwrightianus* es el pariente más cercano del azafrán planteándose que ninguna otra especie podría haber contribuido a la formación del triploide [8].

Recientes análisis de alelos en *Crocus cartwrightianus*, una especie que se encuentra en el sureste de Grecia continental y en las islas del mar Egeo, han confirmado esta hipótesis, identificándolo como el único progenitor del azafrán. Estos análisis filogenéticos indicaron que la población de *C. cartwrightianus* en las cercanías de Atenas es la más similar a *C. sativus*. Concluyendo que el cultivo es un autotriploide que evolucionó en Attica al combinar dos genotipos diferentes de *C. cartwrightianus*.

}

1.4 Situación actual.

Algunas estimaciones creíbles dicen que en el último año la producción ha sido de alrededor de 60 toneladas. El precio medio actual de 2.000 dólares por kg, lo que significa una cantidad de USD 120 millones, para los productores. En tanto el mercado mayorista vende a un precio promedio de 15.000 dólares por kg lo que representa unos USD 900 millones. Estas cifras corresponden a la producción pura, pero en el mercado del azafrán existe un porcentaje muy grande de adulteración, se estima que este puede ser la misma cantidad que el azafrán real, pero a un precio de unos 1.500 dólares por kg. Eso significa que unos 90 millones de USD del mercado provienen de la adulteración. La falsificación del azafrán data desde la antigüedad, mezclándolo con otras especias. Hecho que era merecedor de duras sanciones impuestas por los reyes y/o autoridades.

La producción mundial no oficial estimada de azafrán puro en los últimos años está alrededor de 61 toneladas: Irán 50 t (aunque algunas fuentes iraníes reclaman 300 t), India 8 t, Grecia 2 t, Marruecos 1 t, España 100 kg (aunque algunas fuentes españolas reclaman 1,5 t), Italia (Cerdeña) 100 kg y Francia 10 kg.

Por otra parte, la demanda mundial tiene a India con 20 t, Europa 20 t, Oriente Medio 10 t, EE. UU. 5 t, y China 1 t, con una demanda aproximada de 56 toneladas. Oferta y demanda están casi equilibrado, los productos derivados representan una parte muy pequeña del negocio.

El volumen de fraude y adulteración es más del 50% del mercado y consiste en diferentes tipos de falsificaciones: (i) el uso del mundo "Azafrán" en los productos que no son o no contienen azafrán, (ii) la adulteración de la especia mediante la mezcla o la sustitución de azafrán con otras sustancias en peso, (iii) la adulteración refinada con colorantes artificiales.

La cosecha del estigma de *Crocus sativus* debe ser cuidadosa, se requieren 85.000 estigmas para producir un solo kilo. Según las normas internacionales, el mejor azafrán - que se vende por USD 6 un gramo o USD 6.000 por kilo - debería tener sólo el 0,5 por ciento de los "residuos de

flores" y 0,1 ciento "materia extraña". Pero los resultados en 10 marcas compradas sugieren que presenta entre 40 a 90% de otras partes. En otras palabras, unas hebras de azafrán "de primera calidad" supuestamente contiene entre un 10 a 60 por ciento de azafrán real.

1.5 Futuro del azafrán.

Hace tan solo una década, en Cachemira se podía cosechar 200 kilogramos de azafrán, la mitad de los 400 kilos que sus padres obtendrían en los años noventa. Hace tres años, su cosecha bajó a 20 kilogramos; en 2016, cayó a 15. El año pasado, la cosecha pesó menos de 7 kilogramos.

Los agricultores han comenzado a decir, "el rojo dorado se está tornando gris". La oferta de azafrán ha disminuido notoriamente entre los países productores de azafrán como consecuencia de la violencia regional, las sequías y los efectos del cambio climático. Una situación similar se vive en los países europeos, donde los costos de la mano de obra hacen inviable el cultivo del azafrán.

Esto otorga una enorme oportunidad a países como el nuestro, con una agricultura familiar fuerte para ingresar con azafrán de excelente calidad al mercado mundial.

2. Clima y condiciones para el establecimiento del azafrán en la Pampa del Tamarugal

**Ingeniero Agrónomo
Dr. Jorge Arenas Charlín**

Las condiciones ambientales de un sector, pueden ser muy determinantes en el comportamiento tanto fenológico como productivo de un cultivo, el azafrán no escapa de esta premisa. Dependiendo de las particularidades de un sector, pueden identificarse, de manera previa, las potencialidades y restricciones que este pueda tener para un cultivo, considerándose en esto tanto los rendimientos obtenidos, las magnitudes de estos y las épocas de cosecha. Constituyendo las variables anteriores antecedentes que pueden ser muy relevantes para determinar la rentabilidad de un cultivo en un sector determinado y con una fenología asociada al sector geográfico analizado.

A continuación, se evaluarán algunas variables ambientales registradas en la Estación Canchones y, de qué manera estas variables se pueden asociar con el comportamiento del cultivo del azafrán.

2.1 Latitud y época de cosecha del cultivo

Existen dos variables ambientales que son muy relevantes y que se asocian tanto al lugar de la plantación, como al momento de desarrollo del cultivo. En la tabla 1, se incluyen los países que tienen las mayores cosechas de azafrán, especificando su ubicación, hemisferio y mes aproximado de cosecha.

Tabla 1. Latitudes de principales zonas con cultivo de azafrán y comparación con ensayo realizado en Estación Canchones.

Pais	Latitud	Hemisferio	Mes de Cosecha
España	40,1	Norte	Octubre
Grecia	38,2	Norte	Octubre
Marruecos	33,3	Norte	Octubre
India (Cachemira)	33,1	Norte	Octubre
Irán	32,3	Norte	Octubre
Chile (<i>Estación Canchones</i>)	20,4	Sur	Abril

Fuente: Propia.

En la tabla anterior se observa la gran diferencia entre las latitudes de plantación en el hemisferio norte y la latitud de la Estación Canchones. Las diferentes latitudes de los puntos de producción de azafrán del hemisferio norte, equivalen a las latitudes en que se encuentran las ciudades de La Ligua (por el norte) y La Unión (por el sur), es decir, a más de 1.500 kilómetros al sur de Iquique. La gran diferencia entre las latitudes de los sectores productivos, podría implicar un efecto significativo respecto del largo del día. Sin embargo, se logró cosechar azafrán en Iquique.

¿Cuál podría ser la explicación del comportamiento anterior? La posibilidad de lograr cosechas en períodos muy cercanos, se explica porque éstas se obtienen en una fecha muy cercana al equinoccio de otoño: 21 de marzo (hemisferio sur) y 21 de septiembre (hemisferio norte) (Tabla 2).

Tabla 2. Largo del día durante el mes de cosecha para los distintos lugares de plantación.

País	Latitud	Mes de Cosecha	Duración del día	
			Horas	Minutos
España	40,1	Octubre	10	54
Grecia	38,2	Octubre	10	54
Marruecos	33,3	Octubre	11	12
India (Cachemira)	33,1	Octubre	11	12
Irán	32,3	Octubre	11	12
Chile (<i>Estación Canchones</i>)	20,4	Abril	11	30

Fuente: Propia.

Es decir, para el período de cosecha, la máxima diferencia de largo de día de la Estación Canchones, con el sector más septentrional de cultivo de azafrán (España), es de 36 minutos, lo cual no sería algo muy significativo para el comportamiento productivo del cultivo entre ambos hemisferios.

2.2 Temperaturas

El registro de temperaturas de la Estación Meteorológica existente en la Estación Canchones de la Universidad Arturo Prat muestra los siguientes registros (Figura 3).

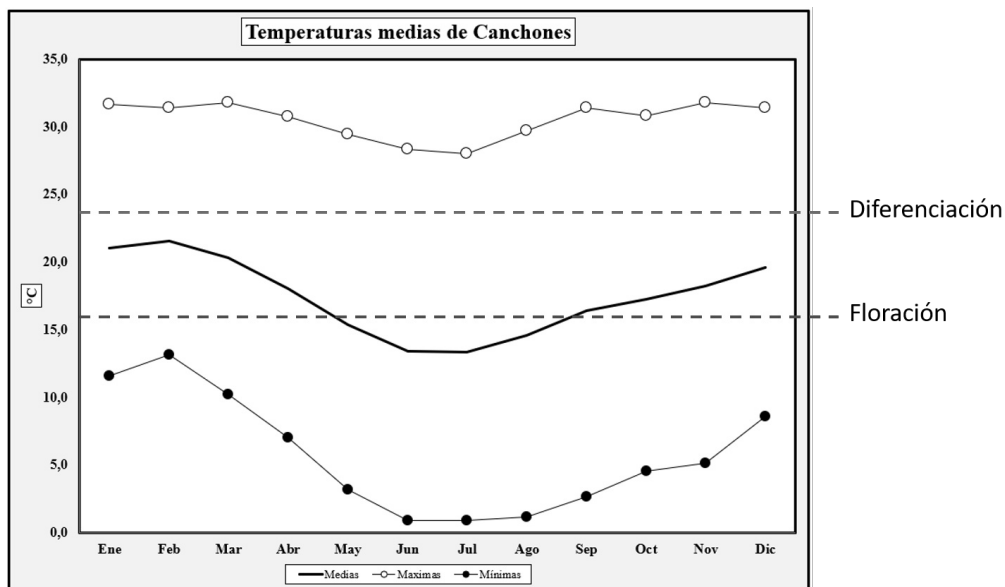


Figura 3.- Temperaturas promedio (máximas, medias y mínimas) por mes registradas en la Estación Canchones. Fuente: Propia.

La estación Canchones, ubicada en el extremo sur este de la Pampa del Tamarugal, es un sector con una alta variabilidad en las temperaturas, dada la escasa superficie con vegetación. Tal como se observa en la figura anterior, las temperaturas máximas se mantienen altas a lo largo de todo el año, existiendo una variación de pocos grados a lo largo del año. Las temperaturas mínimas disminuyen significativamente durante los meses de invierno, alcanzándose temperaturas mínimas inferiores a 0 °C, al menos durante 30 días al año. Lo anterior, explica la caída en las temperaturas medias durante el período desde el mes de abril hasta septiembre. La situación anterior explica la disminución de los días grado entre abril y septiembre y el incremento de las horas frío durante el mismo período tal como se aprecia más adelante.

2.3 Humedad Relativa

Durante el período de desarrollo del cultivo (abril a septiembre) se registró una alta variabilidad en las humedades relativas extremas del mes (Figura 4)

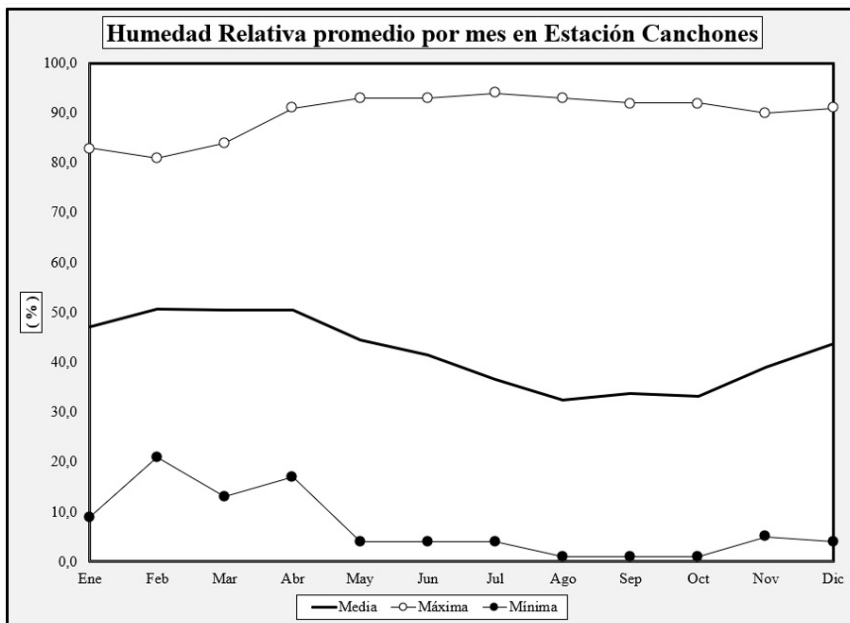


Figura 4.- Humedades relativas (máximas, medias y mínimas) por mes registradas en la Estación Canchones. Fuente: Propia.

Tal como se observa en el gráfico anterior, a partir de abril se produce una gran disminución de la humedad relativa mínima. La gran variabilidad de las humedades relativas observadas, son producto del efecto del viento que, durante la tarde, proceden desde el desierto (SE), siendo un viento con alta temperatura y baja humedad relativa. Esta característica ambiental implica las necesidades de determinar manejos apropiados del riego como poner cortinas contra el viento en el caso que esta variable sea muy excesiva.

2.4 Días Grado (DG)

Los días grado son un importante indicador agroclimático, que permiten estimar el comportamiento de los distintos estados de desarrollo del cultivo. Para muchos cultivos los DG pueden ser el indicador principal para estimar la época de cosecha. En la Figura 5, se consideran los días grado registrados durante el período en el cual el cultivo está en el terreno.

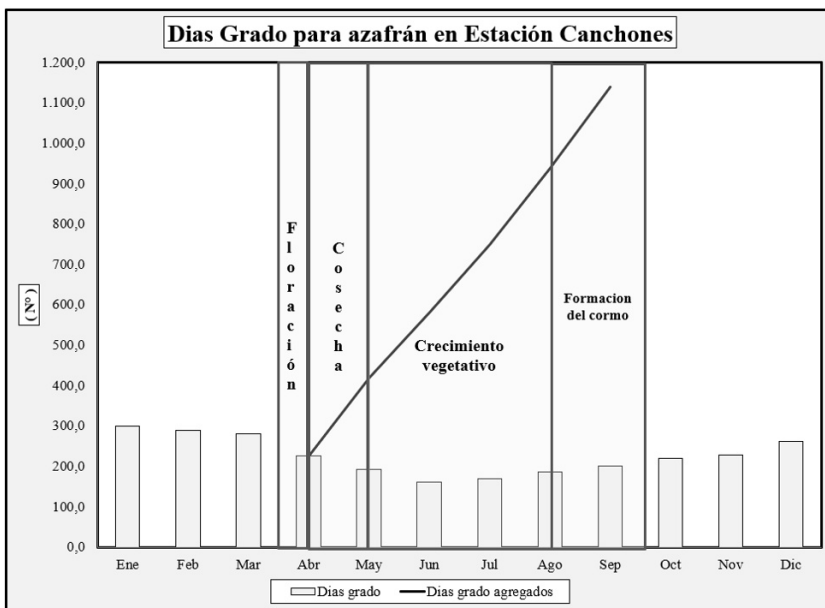


Figura 5. Días grado registrados por mes en la Estación Canchones. Fuente: Propia.

Para la determinación de la figura anterior, se consideró lo siguiente:

- Cálculo de los días grado solamente cuando el cultivo se encontraba en el terreno.
- El cálculo de los días grado se realizó cuando las temperaturas medias eran mayores a los 10°C.
- En la Tabla 3, se consideran, por mes del cultivo, los valores de días grado acumulados.

Tabla 3. Días Grado por mes para el período abril-septiembre en la Estación Canchones.

Mes	Días del mes	Estado	Duración (días)	Horas Frio		
				Mes	Estado/mes	Agregado
Enero	31	Latencia	90			
Febrero	28					
Marzo	31					
Abril	30	Inicio Floracion	15	56,0	28,0	28,0
		Cosecha	15		28,0	56,0
Mayo	31	Crecimiento vegetativo	108	170,7	170,7	226,7
Junio	30			234,2	234,2	460,9
Julio	31			236,3	236,3	697,2
Agosto	31			109,3	109,3	806,5
Septiembre	30	Formación de corno	45	278,7	109,3	915,7
					169,5	1085,2
Octubre	31	Latencia	92			
Noviembre	30					
Diciembre	31					

Fuente: Propia.

En la figura 5 y la tabla 3 se relacionan los días grado, con la aparición de la inflorescencia. El hecho que la floración se induzca de manera tan temprana, implica que las plantas ya deben venir con manejos inducidos durante la etapa previa a la plantación. Este manejo debe ser uno de los que deben ser optimizados en futuros ensayos.

2.5 Horas frío

Las horas frío son un importante indicador agroclimático, que permiten estimar el momento de floración y brotación del cultivo. Este sería un indicador asociado con las temperaturas, cuando estas disminuyen bajo los 7°C y se acumula una determinada cantidad de horas frío se induciría la floración y brotación de la planta. En la figura 6, se consideran las horas registradas durante el período en el cual el cultivo está en el terreno.

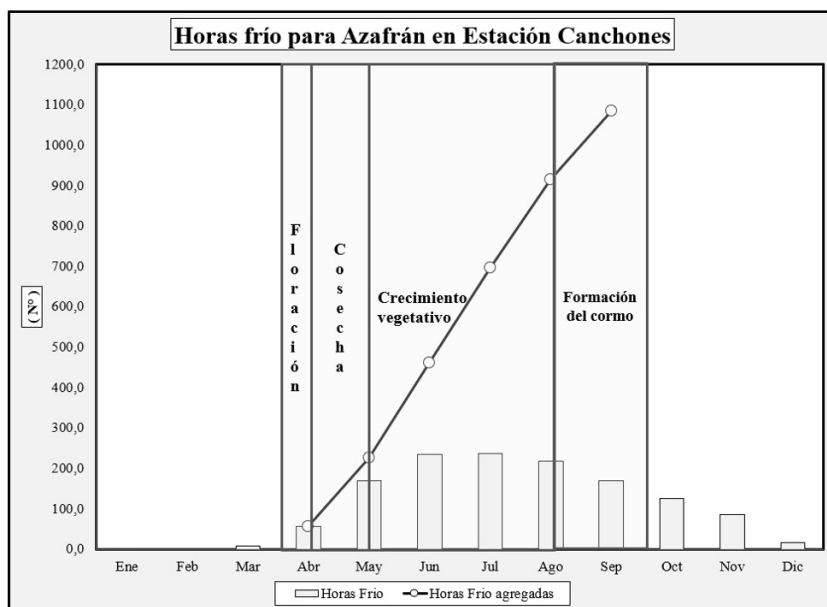


Figura 6. Horas Frío registradas por mes en la Estación Canchones. Fuente: Propia.

Todo el manejo de horas frío se realizó durante el receso del cultivo, manteniendo los cormos a las temperaturas propias del cultivo. En condiciones controladas luego de levantar los cormos del terreno. En este caso, las horas frío serán solamente referenciales, ya que gran parte del control de este indicador se puede realizar de manera controlada cuando se cosechan los cormos.

3. Suelos y agua

**Ingeniero Agrónomo
Isabel Sepúlveda Soto**

**Ingeniero Agrónomo
M. Sc. Dr. José Delatorre Herrera**

El Azafrán es un cultivo que acepta la diversidad edáfica, siendo poco exigente en la calidad del suelo, por lo que crece con normalidad en diferentes terrenos. La producción varía de acuerdo a la naturaleza y propiedades que caracterizan al suelo, es decir, en función de la estructura, textura, profundidad, permeabilidad y fertilidad [13].

Para el cultivo del azafrán es preferible suelos livianos, bien drenados y con un contenido medio de materia orgánica del orden del 2,5% y pH cercano al neutro. Suelos con conductividades eléctricas altas provocan un desbalance osmótico a nivel de cormos que puede retrasar los períodos de floración [14]. Sin embargo, las plantas crecen en condiciones de salinidad (Figura 7 y 8).

No requiere mucha profundidad el suelo, ya que el desarrollo radicular no es muy grande, pero es importante la capacidad que tenga este para retener humedad, mejorar el aprovechamiento del agua y aportar nutrientes. En suelos muy fértiles, el desarrollo vegetativo se acelera demasiado, disminuyendo así el producto cosechado [13].



Figura 7. Cormos de azafrán creciendo en suelos salinos en la Estación Experimental Canchones. Pampa del Tamarugal. Fuente: Propia.



Figura 8. Suelo típico de la Pampa del Tamarugal. Fuente: Propia.

En la Pampa del Tamarugal, los suelos poseen bajos contenidos de materia orgánica, son del tipo arenoso, con pH básicos en general (Tabla 4), con altos contenidos de Boro (B) y Sodio (Na). La concentración de Potasio (K) es normal, a diferencia del Fosforo (P), el que está en bajas concentraciones.

Tabla 4. Caracterización química de suelos en diferentes predios de la Pampa del tamarugal, previo a la siembra de cormos.

Parcela	pH	CE ds/cm ³	B mg/kg	P mg/kg	Na mmol+/L	K mmol+/L	Ca mmol+/L	Mg mmol+/L	%Mo
Parcela 1	8,3	9,37	297,3	16,14	3989,8	131,7	622,9	132,8	3,6
Parcela 2	7,9	0,99	100,2	38,24	324,9	61,7	544,9	69,0	5,4
Parcela 3	7,9	4,68	208,6	65,82	984,6	145,2	827,8	194,3	2,8
Parcela 4	6,9	0,52	86,43	73,62	1451,4	34,7	1066,9	326,0	2,1
Parcela 5	8,2	0,52	277,7	49,52	250,1	30,5	330,4	38,4	4,8
Parcela 6	7,7	0,85	117,4	72,06	287,6	38,5	571,3	50,0	5,0
Parcela 7	6,30	3,5	10,98	162,2	216,7	44,8	535,6	19,0	0,8
CANCHONES	8,1	0,96	40,45	61,32	616,6	53,0	537,6	42,5	1,8

Fuente: Análisis realizados en el Laboratorio de Fisiología y Nutrición Vegetal (2018).

Desde el punto de vista de la fertilidad, los suelos muestran bajos valores de Fosforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg). Por literatura los requerimientos del azafrán varían según los suelos y localidades. La tasa de extracción por tonelada de hoja es de 10,2 kg de N; 3,2 kg de P y 22,8 kg de K. Diversos autores recomiendan fertilizaciones que fluctúan entre 20 a 150 kg de Nitrogeno (N) por hectárea, dependiendo si son cultivado bajo o riego o a secano [52, 53, 54]. Otros autores recomiendan una fórmula de 45N:50P:30K kg/ha [15], lo que equivale a 200 kg de Nitrato (NO₃), 115 kg de Fosfato (P₂O₅) y 36 kg de Oxido de Potasio (K₂O).

Respecto de la calidad del agua, los análisis de agua de muestras tomadas de los predios de los agricultores de la Pampa del Tamarugal muestran la presencia de altas concentraciones de sodio y calcio (Tabla 5).

Tabla 5. Caracterización química de agua de los predios de agricultores sector la Tirana.

Parcela	pH	CE $\mu\text{s/cm}$	N mg/L	P mg/L	B mg/L	K mg/L	Na mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L
Parcela 1	8,5	2125	0,05	0,55	5,69	4,69	36,3	45,8	10,2
Parcela 3	8,5	2120	0,09	0,36	5,49	5,17	30,5	39,8	9,8
Parcela 4	7,8	1150	0,2	0,21	3,81	3,12	20,7	27,1	5,6
Parcela 5	8,8	985	0,11	0,12	3,25	2,99	18,3	25,4	6,3
Parcela 6	8,1	863	0,04	0,41	2,42	2,03	17,3	24,6	5,1
Parcela 7	7,5	1354	0,06	0,22	2,12	1,75	22,8	25,1	4,2
Canchones	8,7	1128	0,022	0,228	2,787	2,481	16,092	27,171	6,661

Fuente: Propia.

El agua de la Pampa del Tamarugal tiene un alto contenido de Na, Ca, lo que confiere un pH básico, el que oscila entre 7,5 a 8,8. El nivel de Boro (B) se encuentra entre moderado a alto (2,1 a 5,7 mg kg⁻¹).

Esto demuestra que las características del agua de la Pampa del Tamarugal no afectan el crecimiento de las plantas de azafrán, lo que confirma la rusticidad de este cultivo.

4. Fisiología del azafrán

Ingeniero Agrónomo

M. Sc. Dr. José Delatorre Herrera

4.1 Patrón de crecimiento

El ciclo de vida del azafrán es similar en todos los países productores, pero hay grandes diferencias en el momento de los eventos [16,17].

El patrón de crecimiento del azafrán es diferente de otros cultivos y se puede dividir en tres etapas: floración, etapa vegetativa y formación de cormos.

En condiciones de la India, la floración se produce durante el otoño (octubre-noviembre hemisferio norte), seguido de la etapa vegetativa y la formación de cormos de reemplazo en la base de los brotes, durante todo el invierno (diciembre a marzo hemisferio norte) (Figura 9). Al inicio de la Primavera (estación seca entre abril a mayo del hemisferio norte), las hojas senescen y se marchitan, y los cormos entran en latencia.

La transición de la etapa vegetativa a reproductiva ocurre poco después en el vértice de las yemas de cormos subterráneos [18]. Se ha informado que esta transición comienza en primavera (marzo-abril en el hemisferio norte) [19, 20]. En las condiciones de la Pampa del Tamarugal, las plantas introducidas desde el hemisferio norte han tardado a lo menos tres ciclos en adaptarse a esta nueva condición climática (Figura 9).

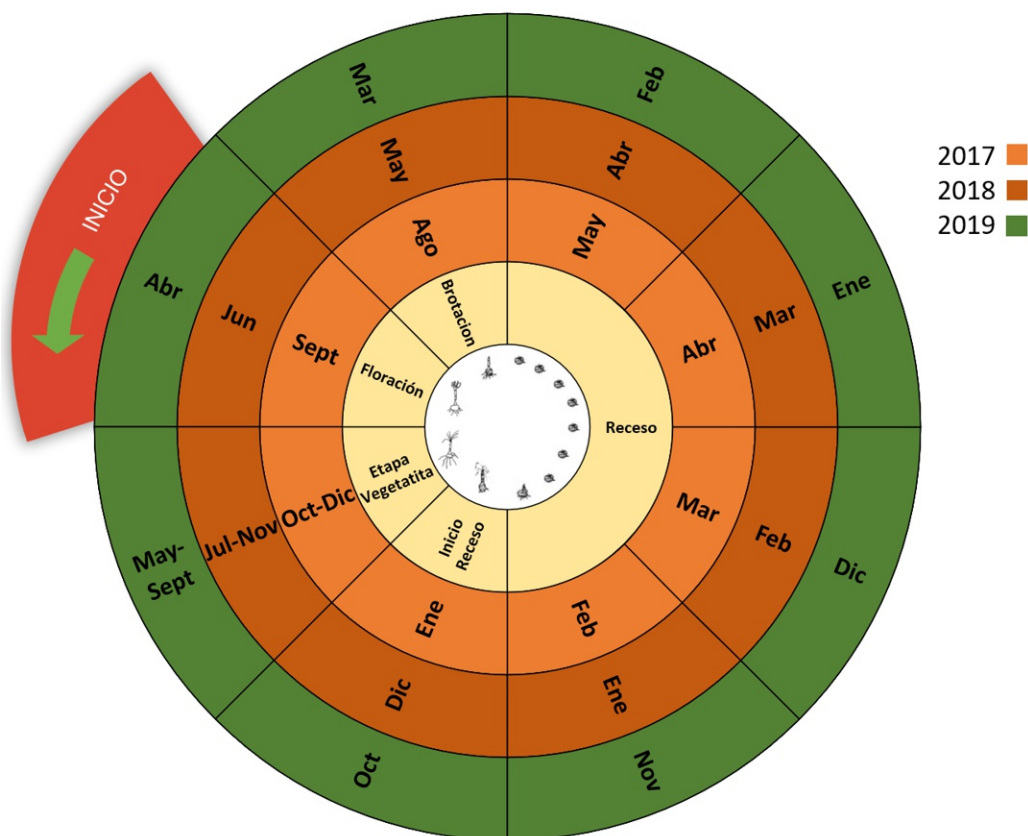


Figura 9. Etapas fenológicas en los diferentes ciclos de cultivos en el proceso de adaptación. Fuente: Propia.

En la pampa una vez normalizados los ciclos de vidas de los cormos traídos del hemisferio norte, los estadios fenológicos ocurren en las mismas estaciones del año que los señalados por la literatura. Es decir, plantación en abril (otoño), entre 10 a 15 días después ocurre la floración. Crecimiento vegetativo entre mayo a agosto (otoño-invierno). Transición de etapa vegetativa a cormo agosto septiembre (invierno-primavera). La senescencia ocurre cuando comienzan a aumentar drásticamente las temperaturas en la pampa, esto ocurre a partir de septiembre.

4.2 El efecto de las temperaturas

El azafrán se cultiva en zonas con una diversidad de climas, con temperaturas medias que fluctúan entre 5,9°C a 18.6°C [21]. La influencia de un régimen de temperatura constante en la formación de flores de azafrán es bastante importante. Una baja temperatura con alta humedad durante el período de floración afecta negativamente a la producción de flores.

La diferenciación floral o formación de la flor, ocurre cuando la temperatura sube por encima de 20 ° C al final de la primavera, mientras que la aparición de flores o inducción floral, ocurre cuando la temperatura cae por debajo de 16 °C [22] demostraron que es posible inducir la floración del azafrán, antes de la aparición de la hoja, almacenando cormos en vermiculita seca a 15 °C durante 35 días y luego transfiriéndolos a condiciones controladas con 16 h de luz y 17 ° C y 12°C en la noche.

La temperatura óptima para la emergencia de la flor debe ser más baja que la requerida para la formación de flores [22]. Este hecho explica la diferencia en el tiempo de la iniciación floral en lugares con climas contrastantes. Molina *et al.*, [23] señalan que la temperatura óptima para la formación de la flor (en el meristema) y el desarrollo de los cormos está en el rango de 23–27 ° C, siendo 23 ° C el óptimo para la formación del número máximo de flores. La incubación a estas temperaturas debe exceder los 50 días.

4.3 Estados fenológicos del azafrán

A continuación, se presenta un resumen de la escala de desarrollo fenológico para el azafrán propuesto por el *Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie* (BBCH) [24]. En general podemos resumir el crecimiento y desarrollo del azafrán en las siguientes etapas o estados: 0 Brotación, 1 Vegetativo, 4 Crecimiento de cormos de reemplazo, 5 Aparición de catáfilos florales, 6 Floración y 9 Senescencia. Estos estados son enumerados y se pueden dividir en diferentes sub estados.

Estado 0: Brotación

El primer estadio es 0.0 y corresponde al corno madre dormido. Los brotes apicales y laterales aún no están desarrollados.

El proceso de crecimiento y desarrollo comienza en 0.1 con la hinchazón de la yema y termina en 0.9 con la aparición de los Brotes (catáfilos) que rompen la superficie del suelo. Al término de este estado se alcanza la etapa de desarrollo vegetativo.

Estado 1: Vegetativo

Corresponde al crecimiento de las hojas en X% de la longitud final, así en el sub estado 1.0 las hojas alcanzan el 10% de su longitud. El 1.9 corresponde al 90% de la longitud final de las hojas. Al término de esta etapa, el estadio siguiente corresponde al crecimiento de los cormillos o estado 4.

Estado 4: Crecimiento de cormos de reemplazo

Corresponde al crecimiento de los cormos de reemplazo en X% del diámetro final. De esta forma en 4.1 los cormos de reemplazo (cormillos) tienen el 10% del tamaño final. En tanto que en 4.9 los cormos de reemplazo alcanzan el 90% del tamaño final. La etapa siguiente es la aparición de los catafilos florales (Estado 5).

Estado 5: Aparición de catáfilos florales.

5.0 es el inicio de las catáfilos florales. Los estigmas son visibles en la parte basal del tallo. En 5.5 las flores están emergentes. En 5.7 los catáfilos de flor están visibles sobre el suelo, envueltos por sus brácteas. Este estado termina en 5.9 donde los catafilos están visibles pero cerrados, posteriormente comienza el Estado 6.

Estado 6: Floración

En este estadio, 6.0 corresponde a la aparición de los primeros tépalos de flores visibles. 6.1 es el 10 % de la masa máxima de flores alcanzada y 6.9 es el final de la floración, entre estos subestadios existen etapas intermedias, numeradas correlativamente. Al término de este estadio comienza la senescencia.

Estado 9: Senescencia de plantas

El subestado 9.1 corresponde al desarrollo de hojas follaje aún verde. En 9.3 los ápices de las hojas (nomófilas) comienzan a decolorarse. En 9.5 el 50% de las hojas están amarillentas. En 9.7 todas las hojas están totalmente descoloridas y comenzando la planta a entrar en reposo. El cormo madre está completamente seco. En 9.8 las hojas caen del cormo. Finalmente, en 9.9 los cormos de reemplazo están completamente formados, pero entran al estadio 0.

En la figura 10 se muestra una expresión gráfica de los estadios fenológicos en plantas de azafrán.

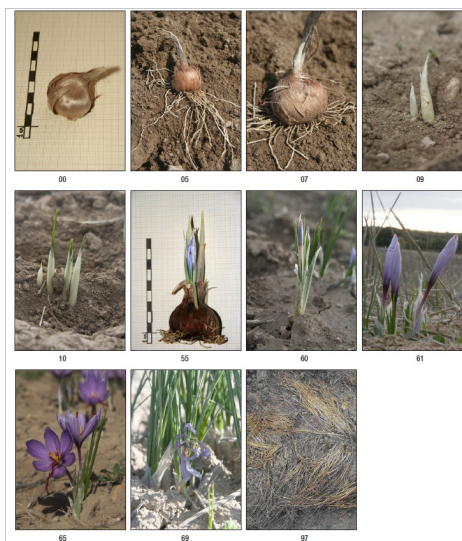


Figura 10. Estadios fenológicos en azafrán. (Fuente: [14])

5. Respuesta adaptativa del Azafrán introducido contra estación en la Pampa del Tamarugal

**Ingeniero Agrónomo
Isabel Sepúlveda Soto**

**Ingeniero Agrónomo
M. Sc. Dr. José Delatorre Herrera**

5.1 Floración

Aproximadamente en la mitad del periodo estival, (enero - febrero), el cormo central comienza a activar su maquinaria metabólica, luego comienzan a activarse los centros de crecimiento para retomar su crecimiento y desarrollo. Con las temperaturas, luminosidad y humedad adecuadas (en otoño), se produce la floración [13, 27].

En el caso del cultivo del azafrán en la Pampa del Tamarugal, la floración fue nula durante la primera temporada, ya que estas se sembraron en pleno verano y por el hecho de venir de un lugar que se encontraban en contra estación (otoño) ocasionó una inhibición en la inducción floral por efecto de las altas temperaturas.

En la segunda temporada, la floración si bien ocurrió esta fue baja, alrededor del 10%. Esto como consecuencia que las plantas no pudieron recibir el ciclo de temperaturas adecuadas para inducir la diferenciación floral (temperaturas menores a 16°C).

Ya en la tercera temporada, donde los cormos finalmente rebrotaron en la época de otoño (Figura 11), la floración aumentó considerablemente a un 85% en los cormos productivos. Esto como consecuencia que los cormos tuvieron su primera temporada expuestos a temperaturas inferiores a 16°C.



Figura 11. Floración de Azafrán en Estación Experimental Canchones.
Fuente: Propia.

5.2 Cosecha

La cosecha se realiza inmediatamente después de que la flor emerge desde el suelo, ya que el azafrán propiamente tal se deshidrata rápidamente en condiciones de altas temperaturas y al aire libre.

La cosecha se debe realizar temprano en las mañanas cuando la flor no ha abierto completamente. Esto es particularmente crítico en la pampa, especialmente porque la humedad ambiente pasa de 90% a 10% en pocas horas, siendo muy baja entre las 10 y 18 horas (Figura 12).

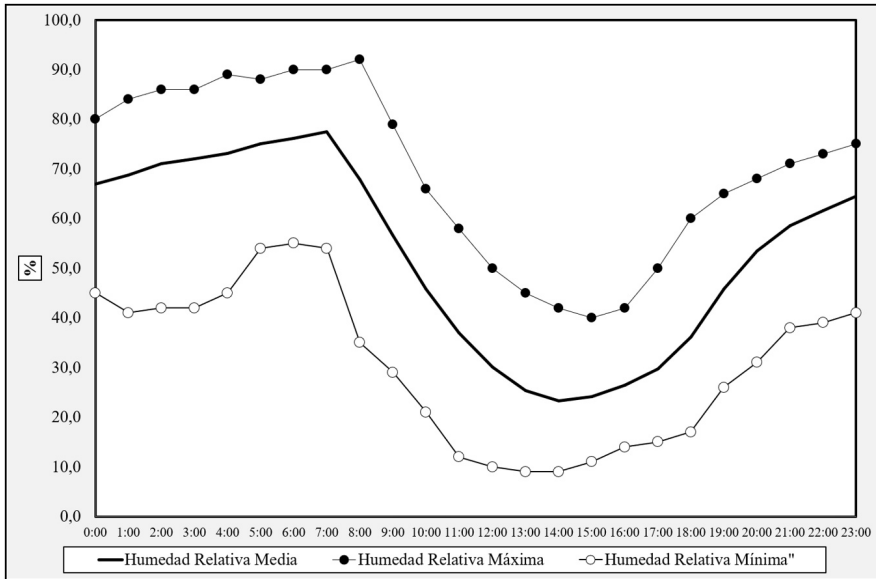


Figura 12. Humedades relativas diarias en el mes de cosecha (abril). Fuente: Propia.

Los datos muestran la necesidad de cosechar a primera hora, entre las 6.00 a 9.00 de la mañana a fin de evitar la deshidratación de los estigmas. La temporada de cosecha dura exactamente lo mismo que la etapa de floración. Esto puede ser entre dos semanas y un mes.



Figura 13. Cosecha de flores de Azafrán en Estación Experimental Canchones. Fuente: Propia.

5.3 Desarrollo vegetativo

El desarrollo vegetativo, las hojas, comienza inmediatamente después de la floración o a la vez (Figura 14). Y esta etapa puede durar hasta 6 meses, dependiendo del incremento de las temperaturas. La temperatura media anual donde crece el azafrán se encuentra entre los 5,9° a 18.6°C.

La prolongación de este periodo, así como también la longitud de las hojas están directamente relacionadas con el crecimiento y multiplicación de los cormos.



Figura 14. Crecimiento vegetativo del azafrán en la Pampa del Tamarugal.
Fuente: Propia.

En la Pampa del Tamarugal en la primera temporada de adaptación, el periodo vegetativo tuvo una duración de 4 meses. Esto se debió en parte a que llegaron en contra temporada, lo que produjo que el ciclo se acortara, debido a esto el desarrollo foliar fue medio. La segunda temporada los cormos tuvieron un ciclo vegetativo más largo de 5 a 6 meses, produciendo un desarrollo foliar mayor.

5.4 Dormancia y receso

Al final de la etapa vegetativa la actividad del azafrán decrece. Con la llegada de las altas temperaturas se produce la entrada del vegetal en una fase de ralentización, su actividad se reduce progresivamente hasta cesar casi por completo. Se caracteriza por la ausencia total de crecimiento y actividad, posiblemente como resultado de la gran concentración de energía empleada en la tarea de formación de nuevos órganos. El azafrán entra en la fase que se conoce como de “reposo, dormición o letargo”.

Durante el primer año del cultivo el receso llegó en el mes de septiembre, es decir en primavera, esto debido a que los cormos fueron sembrados en enero – febrero.

Al segundo año del cultivo y debido a que la siembra fue hecha más tardíamente, el inicio del receso fue entre los meses de noviembre diciembre (Figura 15).



Figura 15. Planta de Azafrán entrando en receso en Estación Experimental Canchones. Fuente: Propia.

5.5 Calibre de cormos

La formación de flores está directamente relacionada al calibre de los cormos y una relación cuantitativa entre estos dos parámetros ha sido encontrada.

Ya que la obtención de flores es el principal objetivo en la producción de azafrán, por esto, es de suma importancia la obtención de nuevos cormos que posean un tamaño productivo óptimo.

Durante la primera temporada de crecimiento para los cormos introducidos, el número de cormos hijos si bien fue alta, estos carecían del calibre necesario para producir floración. Se obtuvo un 76% de cormos de calibre de 2 a 5, los cuales no son productivos, y un 24% de cormos de calibre de 6 a 10 potencialmente productivos (Figura 16).

Los cormos de calibre de 7 a más de 11, son productivos, como se muestra en la tabla 6, ya que estos necesitan tener una inducción de temperatura alta, ya sea natural o artificial. Lo que se logra con el incremento de temperaturas al final de la temporada (octubre a diciembre).

Tabla 6. Calibres de cormos productivos.

	Calibre				
	7/8	8/9	9/10	10/11	11/+
Diametro	2,23 - 2,54	2,54 - 2,89	2,89 - 3,18	3,18 - 3,50	3,50 - 4,45
Perimetro cm (aprox)	7/8	8/9	9/10	10/11	11/14
Peso (aprox)gr	6,9	9,1	12,5	16,7	20
N° de flores por cada 100 cormos	30-40	100	100-200	200-300	300-600

Fuente: Propia.



Figura 16. Cormos de diferentes calibres cosechados en Estación Experimental Canchones. Fuente: Propia.

5.6 Cosecha de cormos

La cosecha de cormos no es algo que se deba realizar en cada temporada, un azafranal puede mantenerse en el suelo hasta 5 años sin necesidad de levantarlo. Pasado este tiempo se deben levantar los cormos, realizar una selección y resembrar. Esto debido al tipo de crecimiento que presentan; los nuevos cormos van creciendo sobre los cormos antiguos, por tanto, se hacen cada vez más superficiales y es importante mantener una profundidad de 15 a 20 cm.

En un sistema productivo donde es necesario realizar inducción de cormos o selección de cormos, estos se deben levantar una vez que todas las hojas del cormo estén totalmente secas, eso implica que cuando comienza el proceso de senescencia se debe suspender el riego.



Figura 17. Cosecha de cormos en Estación Experimental Canchones. Fuente: Propia.

En el caso del cultivo en la Pampa del Tamarugal los cormos al final de la etapa vegetativa fueron levantados para el conteo de cormos, selección de cormos y para realizarles un tratamiento de inducción floral.

La labor de levantar cormos consiste en desenterrarlos directamente del suelo, este es un trabajo que puede hacerse manual o mecanizado.

5.7 Inducción floral

La inducción floral puede ocurrir naturalmente en terreno si los cormos han permanecido en el sitio en condiciones adecuadas de temperaturas.

Durante la época de primavera – verano las plantas ralentizan sus funciones metabólicas, y las altas temperaturas de verano son las que inducen la formación de los órganos florales (diferenciación floral), previo a la senescencia.

Luego al llegar el otoño, las bajas temperaturas inducen la brotación o inducción floral, si las condiciones climáticas fueron adecuadas se producirá la inducción floral; nacerán las flores e inmediatamente las hojas. Si no hubo diferenciación floral, solamente tendremos desarrollo vegetativo, esta diferenciación se logra con temperaturas mayores a 22°C.

Los cormos de la primera temporada de cultivo en la Pampa del Tamarugal, fueron levantados en su totalidad para realizar la selección y conteo. A estos cormos se le aplicó un tratamiento de diferenciación floral artificial que consistió en dejar los cormos en una cámara a una temperatura de 30 °C por 45 a 60 días. Luego de este periodo se redujo la temperatura a 16 °C por 45 a 60 días para promover el proceso de diferenciación floral. Posteriormente los cormos fueron llevados a terreno para la siembra de la segunda temporada.

En la segunda temporada se realizó el mismo tratamiento a la mitad de las parcelas cultivadas.



Figura 18. Cormos de azafrán cosechado y almacenados. Fuente: Propia.

6. Requerimientos Hídricos del cultivo y Riego apropiado

**Ingeniero Agrónomo
Dr. Jorge Arenas Charlín**

6.1 Escalas de trabajo

El cálculo de la tasa de riego apropiada, permite mantener permanentemente el suelo en una condición de humedad óptima, en función de los requerimientos de agua del cultivo. Para este cálculo, se define el siguiente procedimiento:

- a) Calcular la evapotranspiración de referencia (***ET_r***)
- b) Calcular la evapotranspiración del cultivo (***ET_c***)
- c) Calcular las demandas de riego.

Los análisis realizados tendrán 2 escalas de trabajo.

- a) Una escala diaria, para el mes de abril, que es el período en donde se produce la plantación, desarrollo y cosecha del cultivo, y
- b) Una escala mensual para el mes de marzo y para el periodo comprendido entre mayo a octubre. Manejo de preparación y lavado de suelo en marzo y mantención del cultivo ya cosechado entre mayo a octubre.

6.2 Evapotranspiración de referencia (*ET_r*) del sector.

La ***ET_r*** es calculada a partir de la expresión de Penman - Monteith [16], en la cual se determinan las demandas de agua promedio por las plantas. Para esto se usan una serie de antecedentes climáticos que estiman la demanda promedio de agua por los cultivos del sector.

En la figura 19 se grafican las demandas de agua (***ET_r***) calculadas y que servirán de base para estimar, posteriormente, los requerimientos de agua de las plantas. Estos valores han sido registrados por la Estación

Meteorológica ubicada en la Estación Canchones, la cual tiene registros desde el año 2008.

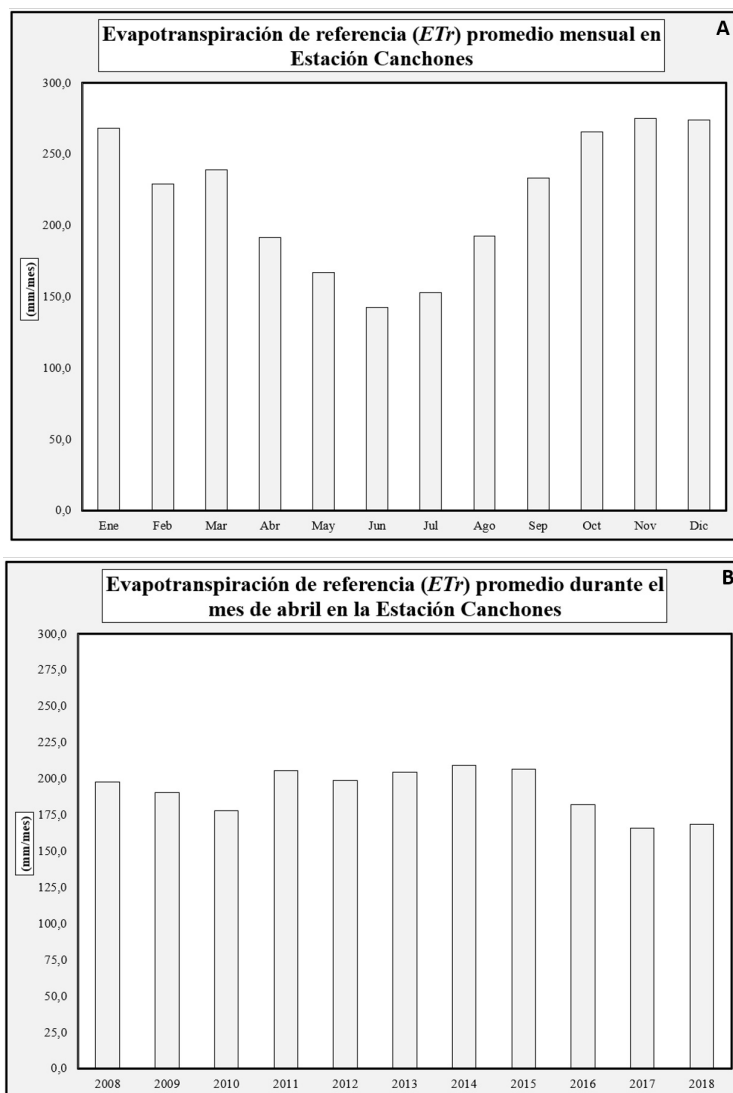


Figura 19. Evapotranspiración de referencia (*ETr*) para la Estación Canchones. (A) Requerimientos mensuales promedio. (B) Requerimientos por año para el mes de abril. Fuente: Propia.

Los requerimientos de agua graficados en las figuras anteriores, permiten sacar 2 conclusiones principales:

- a) La Evapotranspiración del mes de abril (Figura 19 A), tiene una cuantía media, al compararlos con los meses extremos como: enero (máxima **ETr**) y junio (mínima **ETr**) y,
- b) La **ETr** del mes de abril durante el período con mediciones (Figura 19 B), en este se observa que la diferencia entre las **ETr** extremas del mes de abril es de 43 mm/mes, lo cual equivale a un promedio de 1,4 mm/día. En todo caso, en el gráfico anterior se observa una alta variabilidad y no es posible determinar alguna tendencia respecto de las evapotranspiraciones del mes de abril.

6.3 Evapotranspiración del cultivo (**ETc**) para el Azafrán en la localidad de Canchones

La **ETr** es una estimación promedio de las demandas de agua, requiriéndose un cálculo más específico para estimar de las demandas de agua del cultivo (**ETc**). Para esto se usan los coeficientes de cultivo (**Kc**) que permiten estimar las evapotranspiraciones del cultivo (**ETc**) a partir de las demandas de agua promedio para el sector, incorporando variables como son el desarrollo específico del cultivo y su fenología.

Los valores de **Kc** para el azafrán se han obtenido a partir de [29] y se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Valores del **Kc** para el cultivo del azafrán.

Estado	Kc
Siembra	0,33
Madurez	1,2
Fin Cosecha	0,7
Mantención	0,4

Fuente: Propia.

El **Kc** de mantención considera el período previo a la plantación (marzo) y posterior a la cosecha (mayo a octubre).

En la Tabla 8 se estiman las demandas diarias de agua del cultivo para el mes de abril. Para el cálculo de los valores contenidos en la tabla antes definida, se han considerado los siguientes procedimientos:

- a) Los valores de **ETr** se han calculado a partir de la expresión de Penman - Monteith.
- b) Los valores de **Kc** se obtuvieron desde la tabla 7.
- c) Los valores de **ETc** se obtienen de multiplicar el valor de **ETr** por el de **Kc** correspondiente.
- d) El volumen de riego requerido por hectárea se obtiene multiplicando por 10 la **ETc**, pasándose del valor de **ETr** (mm/día) a la tasa de riego requerida (m³/ha/día).
- e) La para obtener el requerimiento de agua por metro cuadrado (L/m²) se debe dividir por 10 la tasa de riego.

Tabla 8. Cálculo la tasa de riego por ser aplicada en el cultivo del azafrán por día durante el mes de abril.

Evapotranspiración de cultivo (ETr) para el cultivo de azafrán durante el mes de abril para la localidad de Canchones					
Dia	ETr mm/día	Kc	ETc mm/día	Tasa de riego	
				m ³ /ha	l/m ²
1	7,0	0,3	2,3	23,3	2,3
2	6,8	0,3	2,2	22,4	2,2
3	6,6	0,3	2,2	21,9	2,2
4	6,3	0,3	2,1	20,9	2,1
5	6,1	0,3	2,0	20,3	2,0
6	6,5	0,5	3,3	33,0	3,3
7	6,5	0,7	4,4	43,8	4,4
8	6,0	0,9	5,1	51,2	5,1
9	6,1	1,0	6,3	62,9	6,3
10	5,7	1,2	6,9	68,5	6,9
11	6,0	1,2	7,2	72,3	7,2
12	6,4	1,2	7,6	76,3	7,6
13	6,1	1,2	7,3	73,0	7,3
14	6,4	1,2	7,7	76,5	7,7
15	6,0	1,2	7,2	72,4	7,2
16	6,1	1,2	7,4	73,8	7,4
17	5,9	1,2	7,0	70,3	7,0
18	6,0	1,2	7,2	71,6	7,2
19	5,6	1,2	6,7	66,8	6,7
20	5,8	1,2	7,0	69,7	7,0
21	6,1	1,2	7,3	72,8	7,3
22	5,9	1,2	7,0	70,2	7,0
23	5,9	1,2	7,1	71,0	7,1
24	5,9	1,2	7,1	70,7	7,1
25	5,4	1,2	6,5	65,1	6,5
26	5,2	1,1	5,7	57,4	5,7
27	5,5	1	5,5	55,2	5,5
28	5,7	0,9	5,1	51,4	5,1
29	5,2	0,8	4,2	41,8	4,2
30	5,5	0,7	3,9	38,8	3,9
Total	180,4		168,5	1.685,4	168,5
Promedio	6,0		5,6	56,2	5,6

Fuente: Propia.

En la tabla 8 se hace un cálculo diario durante el mes de abril de las demandas de agua para el cultivo del azafrán. Con lo anterior, se estima la demanda diaria de agua durante el mes de abril, que es cuando el cultivo reinicia las etapas de crecimiento y desarrollo (plantación a la cosecha).

En la tabla 9, se incluye la demanda de agua por mes para el cultivo de azafrán en el sector de Canchones.

Tabla 9. Cálculo de las tasas de riego por ser aplicada en el cultivo del azafrán durante el período marzo – octubre.

	ETr mm/mes	Kc	ETc	Lavado 50% ETc	Tasa de riego			
			mm/mes		m ³ /ha/mes	m ³ /ha/día	l/m ² /día	
Enero								
Febrero								
Marzo (1)	239,1	0,4	95,6	47,8	1.434,4	46,3	4,6	
Abril (2)	180,4		168,5		1.685,4	56,2	5,6	
Mayo	166,7	0,4	66,7		666,9	21,5	2,2	
Junio	142,2	0,4	56,9		568,9	19,0	1,9	
Julio	152,6	0,4	61,1		610,6	19,7	2,0	
Agosto	192,6	0,4	77,0		770,2	24,8	2,5	
Septiembre	233,1	0,4	93,2		932,3	31,1	3,1	
Octubre	265,6	0,4	106,2		1.062,3	34,3	3,4	
Noviembre								
Diciembre								
(1) Durante marzo se aplica un 50 % mas de agua por el riego, con el fin de lavar las sales								
(2) Datos calculados en la tabla 5.2								

Fuente: Propia.

En la tabla 9 se resumen los requerimientos de agua del cultivo de azafrán, para preparación y lavado del suelo (marzo), demandas de agua como consecuencia de la **ETc** y mantención del cultivo durante el período mayo a octubre.

6.4 Calcular las demandas de riego

Dependiendo del método de riego aplicado, será la eficiencia con la cual se aplica el agua, pasando desde un máximo de 95% de eficiencia para el riego por goteo (con un diseño óptimo, buena instalación y óptima mantención del sistema de riego) hasta un 65% de eficiencia para un riego por surco (también con un óptimo diseño, buena instalación y óptima mantención). En la tabla 10, se determinan, por mes, las demandas efectivas de agua, considerando 2 métodos de riego como son goteo y surco.

Tabla 10. Cálculo de las tasas de riego por ser aplicada mediante goteo y surco en el cultivo del azafrán durante el período marzo – octubre.

	Tasa de riego			Goteo (95% eficiencia)			Surco (60 % eficiencia)		
	m ³ /ha/mes	m ³ /ha/día	l/m ² /día	m ³ /ha/mes	m ³ /ha/día	l/m ² /día	m ³ /ha/mes	m ³ /ha/día	l/m ² /día
Enero									
Febrero									
Marzo	1.434,4	46,3	4,6	1.509,9	48,7	4,9	2390,7	77,1	7,7
Abril	1.685,4	56,2	5,6	1.774,2	59,1	5,9	2809,1	93,6	9,4
Mayo	666,9	21,5	2,2	702,0	22,6	2,3	1111,5	35,9	3,6
Junio	568,9	19,0	1,9	598,8	20,0	2,0	948,1	31,6	3,2
Julio	610,6	19,7	2,0	642,7	20,7	2,1	1017,7	32,8	3,3
Agosto	770,2	24,8	2,5	810,8	26,2	2,6	1283,7	41,4	4,1
Septiembre	932,3	31,1	3,1	981,4	32,7	3,3	1553,8	51,8	5,2
Octubre	1.062,3	34,3	3,4	1.118,2	36,1	3,6	1770,5	57,1	5,7
Noviembre									
Diciembre									
TOTAL	7.731,1	252,8	25,3	8.138,0	266,1	26,6	12.885,2	421,4	42,1

Fuente: Propia.

7. Manejo agronómico del azafrán en la Pampa del Tamarugal

**Ingeniero Agrónomo
Isabel Sepúlveda Soto**

**Ingeniero Agrónomo
M. Sc. Dr. José Delatorre Herrera**

7.1 Material Vegetal

Para iniciar con el cultivo en la Pampa del Tamarugal, se obtuvieron cormos de azafrán (*Crocus sativus* L.), inducidos de calibre 7-8 de la empresa Kelumilla SpA y provenientes de Holanda en enero de 2017 (Figura 20).



Figura 20. Cormos proveídos por Kelumilla SpA importados desde Holanda.
Fuente: Propia.

7.2 Época de plantación

La época de plantación o de rebrote para el cultivo de azafrán ocurre naturalmente al inicio del otoño, donde las bajas temperaturas inducen al cormo a florecer y rebrotar. Considerando que los primeros cormos utilizados para el establecimiento del cultivo provenían del hemisferio norte, fue necesario que adaptar el cultivo a las nuevas condiciones ambientales. Esto como consecuencia que el material importado se encontraba en crecimiento en la estación otoño - invierno, donde se encuentran en pleno ciclo de floración e inicio de crecimiento. Este material al ser importado se recibe en la estación primavera-verano, donde las altas temperaturas, y en especial las de la Pampa del Tamarugal inducen el receso de las plantas, acortando el tiempo del primer ciclo de crecimiento e inhibiendo la floración. La secuencia de plantación en el ensayo se detalla a continuación (Tabla 11):

Tabla 11. Ciclo de plantaciones de cormos de azafrán para su adaptación a la Pampa del Tamarugal.

Año	Meses de plantación	Estación del año
1	Enero-febrero	Verano
2	Mayo-junio	otoño
3	abril	otoño

Fuente: Propia.

El proceso de adaptación de los cormos ocurre a partir del tercer año del ciclo de cultivo, donde las plantas mostraron una adaptación y sincronización a las condiciones ambientales de la Pampa del Tamarugal.

7.3 Preparación del terreno

Para acondicionar el suelo, se debe arar el terreno a 30 cm de profundidad, lo que se puede realizar con un motocultor. Posteriormente para la plantación se forman los surcos (Figura 21). Se incorpora una capa de materia orgánica al fondo del surco (2 kg m²) y sobre esta se deposita una capa de tierra a fin de evitar el contacto directo del cormo con la materia orgánica, ya que los cromos son susceptibles a pudrirse.



Figura 21. Preparación de suelos en parcelas demostrativas en Estación Experimental Canchones. Fuente: Propia.

7.4 Sistema de riego

Posterior a la preparación del suelo se instaló un sistema de riego por goteo, para ello se utilizó cinta de riego con gotero incorporado de 2 L h⁻¹, separados a 20 cm (Figura 22). El sistema es manejado por un controlador programado para regular el tiempo diario.



Figura 22. Sistema de riego por cintas. Fuente: Propia.

7.5 Exigencias lumínicas

El azafrán es una planta de día corto. La reducida capacidad fotosintética de sus hojas, unida a la riqueza de reservas de que se halla dotado el bulbo, reducen sus necesidades de luz, por lo tanto, sus exigencias lumínicas son bajas [30]. Además, estas plantas, por provenir de Holanda, llegaron a una condición de radiación absolutamente inadecuada para su adaptación inicial. Es por esto que bajo las condiciones de la Pampa del Tamarugal se hace necesario utilizar una cubierta para el cultivo. En la Pampa del Tamarugal en la época de primavera - verano la radiación alcanza valores que superan los $3000 \text{ uM de fotones m}^2 \text{ s}^{-1}$ [31]. En Irán donde se cultiva masivamente el azafrán, los valores de radiación oscilan entre $300 \text{ a } 500 \text{ Wm}^{-2}$ [32], lo que equivale aproximadamente entre $1.260 \text{ a } 2.100 \text{ uM de fotones m}^2 \text{ s}^{-1}$ de radiación PAR (por su sigla en inglés: Photosynthetic Active Radiation), así la radiación presente en la pampa supera entre $30 \text{ a } 42\%$ la radiación de las zonas de cultivo de Irán. Esta radiación influye directamente en la multiplicación de los cormos, como queda en evidencia en los ensayos realizados en la Estación Experimental Canchones. De allí la necesidad de

establecer el cultivo con filtros para reducir la incidencia de la radiación, en especial cuando las plantas originales provienen del hemisferio Norte, ya que viene acondicionadas para una época del año que guarda relación con su crecimiento (otoño-invierno) y son recibidas en una estación que induce el receso (primavera – verano). Para esto es necesario que, en estos primeros ciclos de cultivo, poner filtros para proteger las plantas a una exposición muy intensa de radiación, sin embargo, no es posible regular la temperatura ambiente, que en esa época del año alcanza entre 35 a 40°C. Durante el proyecto se evaluaron diferentes coberturas en el cultivo de azafrán para su adaptación del cultivo a las condiciones de radiación imperantes durante los meses de octubre a enero. Se pudo demostrar que el mayor crecimiento de las hojas se logra con una cobertura de 50% de radiación. Esto permite emular en parte la radiación de su lugar de origen, confiriéndole mejores de condiciones de crecimiento (Figura 23).

En cuanto a la producción de cormos, la disminución de la radiación tuvo efectos positivos, ya que la cobertura del 50% obtuvo la mayor cantidad de cormos, con una producción de 3 cormos hijos por cormo madre.



Figura 23. Parcela de azafrán cubierta con malla en Estación Experimental Canchones. Fuente: Propia.

7.6 Siembra y densidad de siembra

La siembra se realizó situando 2 cormos por cada gotero separado a 20 cm sobre hilera, 40 cm entre hileras y a una profundidad de 20 cm (Figura 24), lo que entrega una densidad de 125.000 cormos por hectárea.



Figura 24. Siembra de cormos de azafrán en Estación Experimental Canchones. Fuente: Propia.

Según [33], en Castilla- La Mancha la densidad de plantación normal es de 50-60 cormos/m². Cuando se emplean 120 cormos/m², se obtiene un rendimiento en estigmas significativamente superior frente a la densidad normal. Los rendimientos de estas plantaciones más densas son superiores durante los dos primeros años de cultivo (hasta la floración del año 2), sin embargo, comienzan a disminuir a partir del año 3 y sucesivos, también se utilizan densidades de 250 cormos/m².

7.7 Fertilización

Para la fertilización del azafrán se utilizó la fórmula 40:50:35 (N:P:K), lo que significa que se incorporó el equivalente a 177 kg de NO_3 : 115 kg de P_2O_5 y 36 kg de K_2O por hectárea. Para ello se utilizó nitrato de calcio [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$] nitrato de potasio (KNO_3) y ácido fosfórico(H_3PO_4). Las dosis aplicadas por m^2 son: 9 gr de KNO_3 ; 107 gr de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y 3 mL H_3PO_4 .

8. Plagas y enfermedades

Biólogo

M. Sc. Dr. Víctor Tello Mercado

8.1 Introducción

Las condiciones agro-climatológicas imperantes en la Pampa del Tamarugal son muy ventajosas para el desarrollo de plagas más que para enfermedades en el cultivo de azafrán, esto debido principalmente a la baja humedad relativa promedio durante todo el año. Además, el hecho de que sea una especie geófito la hace vulnerable a especies nocivas de invertebrados edáficos, como algunos ácaros y nemátodos. Por otra parte, algunos invertebrados no edáficos, como pulgones, trips u otros nematodos, podrían actuar como vectores de enfermedades.

8.2 Plagas

Para cada una de las plagas del azafrán, a nivel internacional, se discutirá su existencia en Chile y su relación taxonómica con otras cercanas del mismo género, que podrían ser potenciales problemas del punto de vista fitosanitario.

8.2.1 Gusano cortador [*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)]

El principal agente causante de daños en el cultivo del azafrán, en la Pampa del Tamarugal, es sin duda el gusano cogollero. El adulto de este insecto es una polilla (Figura 25) de vuelo nocturno cuya larva (Figura 26) ataca tanto al brote floral como a la flor desarrollada. Tiene el hábito de permanecer en la parte aérea de la planta durante el día (no se entierra).



Figura 25. A la izquierda el macho de la polilla mientras que a la derecha se encuentra la hembra. Se aprecia el dimorfismo sexual en los colores de las alas anteriores. Fuente: [55]



Figura 26. Reconocimiento de Larvas de *Spodoptera frugiperda*. En la cabeza se observa una letra “y” griega invertida de un color crema sobre un fondo más oscuro (foto izquierda). En el octavo segmento abdominal se observan cuatro tubérculos setíferos formando un cuadrado (foto derecha). Fuente: [56]

8.2.2 Manejo de *Spodoptera frugiperda*

DIPEL® WG es un insecticida biológico, de origen natural, a base a esporas, cristales y restos de fermentación de *Bacillus thuringiensis subesp. Kurstaki* (cepa ABTS-351); especialmente indicado para el control de larvas de lepidópteros. Una vez que el insecto ingiere el producto, deja de alimentarse dentro de la siguiente hora, horas después se va paralizando y después de 3 días muere.

Javelin® WG es un insecticida bioracional de acción estomacal. El ingrediente activo es una nueva y activa cepa de *Bacillus thuringiensis variedad Kurstaki*, el cual al ser ingerido detiene la alimentación del insecto que muere horas después por inanición. Es importante dejar actuar al menos por 48 horas el producto para ver los primeros resultados.

Alternativas químicas

Lorsban™ 4E es un insecticida del grupo de los organofosforados que ha sido utilizado por décadas en una gran cantidad de cultivos y plagas. Es tal vez uno de los ingredientes activos más estudiados y con mayor número de registros en nivel mundial. Es un insecticida que actúa por contacto, ingestión e inhalación y con una marcada acción de profundidad (penetración translaminar) que le confiere un excelente control sobre un gran número de plagas de difícil localización como barrenadores y minadores. Dado que es un elemento muy tóxico, es recomendable utilizar solamente cuando las plantas se encuentran en crecimiento vegetativo, después de la cosecha de flores.

Permetrina 50 CE. Es un insecticida de amplio espectro, que actúa por contacto e ingestión sobre adultos y larvas de lepidópteros, coleópteros, dípteros y homópteros en frutales, cultivos bajos y hortalizas. Este es uno de los pocos insecticidas recomendados para el control de insectos en azafrán. En la tabla 12 se indica la dosis por hectárea para cada uno de los productos comerciales expendidos en Chile.

Tabla 12. Dosis de aplicación del producto comercial (formulado) para el control de *Spodoptera frugiperda* en azafrán.

Producto comercial	Ingrediente activo	mL/ha o g/ha
Dipel® WG.	<i>Bacillus subsp Kurstaki</i>	500-1.000
Javelin® WG	<i>Bacillus subsp Kurstaki</i>	500-750
Lorsban® 4E	Clorpirifós	750-1.000
Permetrina® 50 CE	Permetrina	100

Fuente: Propia.

8.3 Ácaro del bulbo del azafrán

El ácaro del bulbo del azafrán, *Rhizoglyphus robini* Claparède (Acari: Astigmata: Acaridae), es pequeño y lento. Es de color marrón y mide hasta 0,9 mm con un cuerpo de forma esférica y las patas y la mandíbula también de color marrón (Figura 27 A). La tasa de desarrollo depende de la temperatura. A 16°C tarda alrededor de 40 días en convertirse de huevo a adulto y solo 12 días a 27°C. Los ácaros prefieren vivir en la tierra húmeda y entre restos del cultivo [34]. El principal daño de estos ácaros a los bulbos es que perforan las cubiertas protectoras de éstos e ingresan en la pulpa de los bulbos o cormos. Mientras se alimentan y hacen túneles dentro de los cormos, comienzan a multiplicarse y crear agujeros en ellos. Estos orificios se expandirán gradualmente y facilitarán la entrada de nematodos y hongos acelerando la podredumbre.

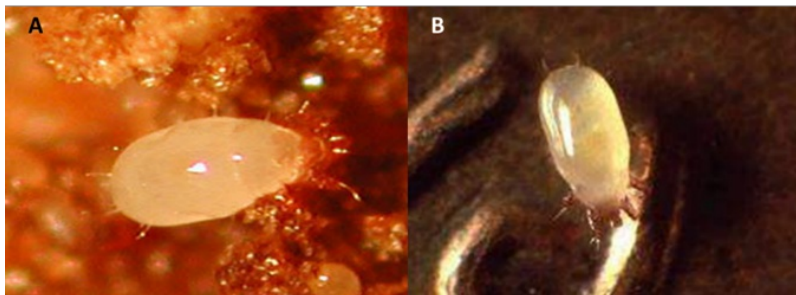


Figura 27. Hembra adulta de *Rhizoglyphus robini* (A) Fotografía de Biobest Group NV®. Hembra adulta de *Rhizoglyphus echinopus* (B) Fuente: [57]

El ácaro *R. robini*, es considerado una de las plagas más importantes en el cultivo del azafrán [35] y puede también albergar bacterias y hongos en su tracto digestivo llegando a ser un importante vector de enfermedades [36].

En Chile no tenemos a esta especie, pero sí a una muy cercana taxonómicamente, *Rhizoglyphus echinopus* (Fumouze y Robin) la cual, de acuerdo a Klein y Waterhouse (2000), en la Región de Tarapacá, ataca fuertemente al gladiolo (*Gladiolus spp*), lirio (*Iris sp*), ajo (*Allium sativum* L.) y cebolla (*Allium cepa* L.). Por ser *R. robini* y *R. echinopus* plagas de bulbos y cormos, existe una alta probabilidad de que *R. echinopus* pueda afectar la producción de azafrán, particularmente si éste fuese cultivado en el valle de Camiña, donde esta plaga es de primera importancia para el cultivo del ajo (Figura 27 B).

8.3.1 Manejo de ácaros

De acuerdo a [37] *R. echinopus* es resistente a muchos acaricidas. Por tanto, es recomendable elegir cormos saludables y uniformes para plantar. Antes de la plantación tratar los cormos con una solución fungicida-acaricida. La aplicación de productos a nivel de campo no se recomienda ya que resulta difícil que el acaricida logre llegar hasta donde se ubican los ácaros. Se recomienda prevenir y controlar los ácaros haciendo las siguientes acciones:

- Seleccionar los cormos sanos y sin manchas oscuras para ser plantados.
- Los cormos deben desinfectarse con un fungicida y un acaricida apropiados antes de plantar.
- La profundidad de siembra debe ser entre 15 a 20 cm según la textura del suelo.
- Evitar la transmisión de ácaros desde áreas infectadas a otras zonas. Una forma no química de eliminar ácaros de los cormos es sumergirlos en agua caliente por un minuto. La temperatura del agua debe ser entre 47 y 49°C. También se pueden desinfectar los cormos sumergiéndolos en una solución preparada con Acaban® 050 EC (Tabla 13).

Tabla 13. Dosis de aplicación del producto comercial (formulado) para el control de *Rhizoglyphus echinopus* en azafrán.

Producto comercial	Ingrediente activo	mL/L de agua
Acaban® 050 EC	Fenpiroximato	1,0 – 1,2

Fuente: Propia.

8.4 Trips

Los trips son insectos pequeños (miden aproximadamente entre 1 a 3 mm) de forma alargada (cilíndrica) y con su extremo posterior muy agudo. Su coloración, de acuerdo a las especies, pueden ser amarillos, castaños o negros. Sus alas son bien características ya que poseen flecos (se ven como plumas). Hay especies ápteras (no poseen alas). La hembra pone entre 80-100 huevos dentro de los tejidos de las plantas. Se incuban después de 4 días. Las pupas permanecen bajo tierra hasta la madurez.

En cuanto a especies, *Anaphothrips obscurus* (Müller) es la principal a nivel mundial, pero no está presente en Chile. En Chile, azafrán podría, potencialmente ser atacado por *Thrips tabaci* Lindeman (Figura 28 A), *Thrips simplex* (Morison) (Figura 28 B), *Frankliniella australis* Morgan y *Frankliniella occidentalis* (Pergande), entre otros.

8.4.1 Daños ocasionados por trips

Su aparato bucal es de tipo raspador-lamedor con el cual rompen las células epidérmicas, las vacían, alimentándose del contenido celular de ellas. Estas zonas dañadas se ven como manchas blancas y amarillas en las hojas del azafrán.

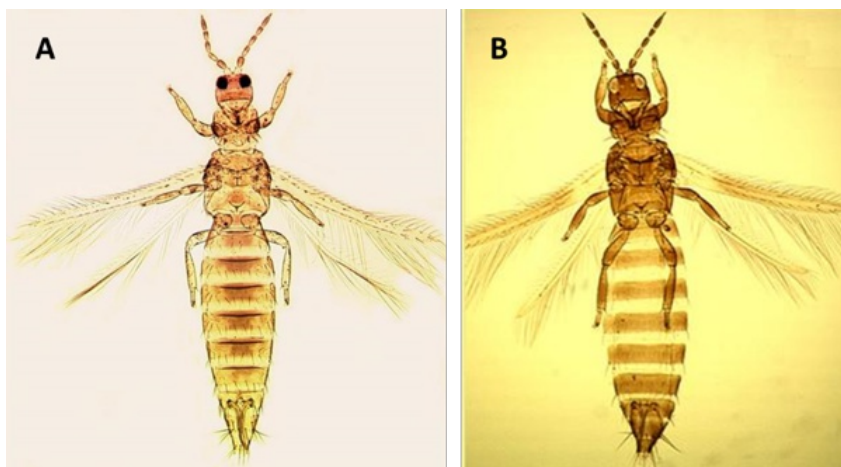


Figura 28. (A) Hembra adulta de *Thrips tabaci* Lindeman. Fotografía de Laurence Mound, Creative Commons Attribution 3.0 Australia License. (B) Hembra adulta de *Thrips simplex* (Morison). Fuente: [58]

8.4.2 Alternativas de manejo de trips

Neem-X®. Es un insecticida botánico extraído de la semilla de la planta Nim (*Azadirachta indica*), formulado como un concentrado soluble natural de acción translaminar, bloqueador de la metamorfosis de insectos en estado de larva, ninfa o pupa.

Protek®. Es un insecticida-acaricida de contacto de origen natural recomendado para el control de chanchito blanco, falsa arañita roja, conchuela negra del olivo y trips de California. Está formulado con base en aceite de toronja más aceite de mandarina.

Success® 48. Es un insecticida natural, derivado de fermentación bacteriana, muy activo contra lepidópteros y trips. Posee un modo de acción diferente a otros insecticidas de uso común, lo que unido a su gran selectividad hacia insectos benéficos lo hace muy útil en programas de manejo integrado de plagas.

Talstar® 10 EC. Es un insecticida de tercera generación, contribuyendo a la incorporación de nuevos grupos químicos que favorecen la rotación de productos y el manejo de resistencias. Presenta control sobre una amplia gama de insectos masticadores y chupadores, en ornamentales, cultivos y frutales. No se debe usar en periodo de floración.

En la tabla 14 se indica la dosis por hectárea de los productos comercializados en Chile para el control de trips.

Tabla 14. Dosis de aplicación del producto comercial (formulado) para el control de trips en azafrán.

Producto comercial	Ingrediente activo	Dosis
Neem-X®	Azadiractina	250 – 400 g/ha
Protek®	Aceite de toronja, aceite de mandarina.	400 g/ha
Success® 48	Espinosad	7 - 12 mL
Talstar® 10 EC	Bifentrina	60 mL

Fuente: Propia.

8.5 Enfermedades fungosas

La fusariosis es la enfermedad más importante en el azafrán, causada por el hongo *Fusarium oxysporum*. Los síntomas principales ocurren durante la floración, cuando las plantas infectadas presentan marchitez, damping-off (caída de plántulas), amarillamiento y marchitamiento de brotes (figura 29 A-F).

El otro hongo importante en azafrán es *Rhizoctonia violacea* (causante del “mal vinoso”). En cormos de azafrán causa manchas de pudrición de color purpura, violáceas o negruzcas que llegan a pudrir el corno dañando completamente el sistema radicular (figura 29 G). Los síntomas característicos de la enfermedad se manifiestan en el corno mediante la presencia externa de una malla de filamentos violáceos, de color semejante al vino, de ahí su nombre.

En la tabla 15 se indica la dosis por hectárea de los productos comercializados en Chile para el control de *Fusarium* y *Rhizoctonia*.

Tabla 15. Dosis de aplicación para la desinfección de cormos de azafrán contra *Fusarium* sp y *Rhizoctonia* sp en azafrán.

Producto comercial	Ingrediente activo	Dosis
Mirage® 40 EC	Procloraz	500-750 mL/100 L de agua
Tecto® 500 SC	Tiabendazol	200 mL/100 L de agua
Celest® Quattro Semillero	Tiabendazol/ Azoxistrobina / Fludioxonilo/ Metalaxilo-M	70-100 mL/100 kg de cormos
Fludioxonil® 230 SC Agrospec	Fludioxonilo	330-400 mL/100 L de agua

Fuente: Propia.

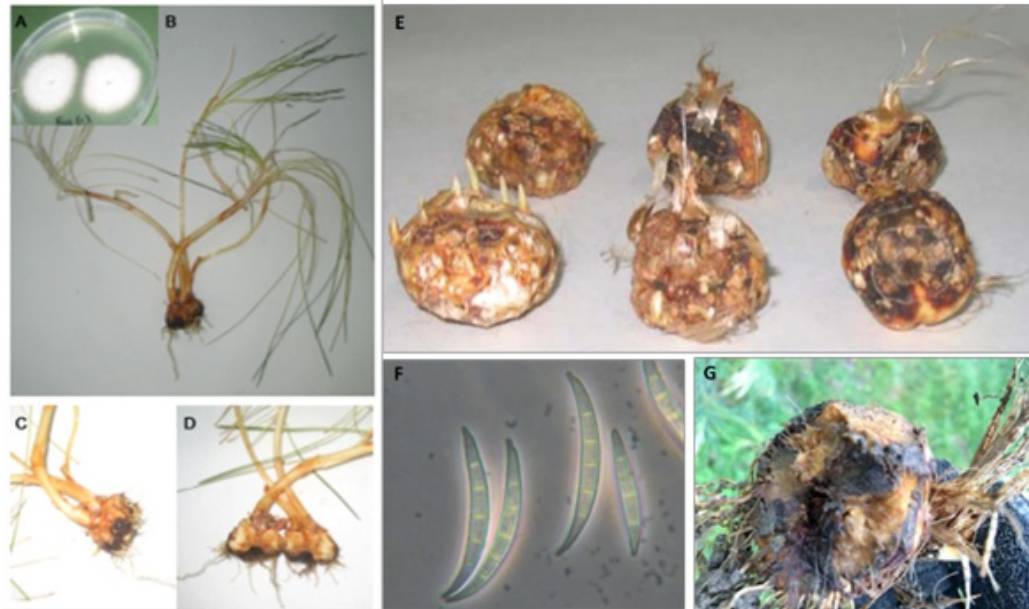


Figura 29. (A) *Fusarium oxysporum* aislado de cormos de azafrán infectados. (B) Síntomas desarrollados por plantas de azafrán causados por *F. oxysporum*. (C) Podredumbre del cormo y pudrición de la raíz causadas por *F. oxysporum* en plantas infectadas. (D) Sección longitudinal de cormos afectados. (E) Conidias (esporas asexuales) de *Fusarium*. (G) Daños provocados por *Rhizoctonia violacea*. Fuente: [59,60]

9. Multiplicación y mejoramiento del cultivo

Ingeniero en Biotecnología
Cristopher Low Pfeng

9.1 Multiplicación convencional

La etapa de multiplicación del azafrán comienza una vez que la floración termina (abril-mayo), con la activación de las yemas laterales, lo que promueve la generación de nuevos cormos. Estos cormillos comenzarán su etapa de crecimiento (Figura 30) hasta alcanzar diámetros de 8-10, lo que los deja en condiciones de emitir la vara floral, siempre que se cumplan las condiciones de temperaturas adecuadas para inducir la diferenciación floral.



Figura 30. Cormos de diferentes calibres producidos en la Pampa el Tamarugal. Fuente: Propia.

La multiplicación, es el proceso en el cual el cormo madre da origen a cormillos (entre 1 a 6), el crecimiento de estos cormillos se produce a expensas de los nutrientes del cormo madre (Figura 31). El tamaño que estos pueden alcanzar va en directa relación con el número de cormillos en el cormo madre, obteniéndose un cormo de similar calibre al de la madre y entre 1 a 3 cormillos de menor calibre.

Tal como se ha señalado en capítulos anteriores, La luminosidad es un factor de alta importancia en la multiplicación. Esto se evidencia en la experiencia obtenida en el desarrollo del cultivo en Canchones con mallas que filtran el 50% de radiación, permiten producir entre 1 a 3 cormillos con calibres mayores a 6.



Figura 31. Cormo madre y sus cormillos. Fuente: Propia.

Otro factor importante en la multiplicación del azafrán, es la profundidad de siembra, en ensayos realizados se detectó que la mejor profundidad de siembra corresponde a 20 cm, esto promovió la generación de cormos de alto calibre (8-9), en contraste con cormos que se sembraron superficialmente (10 cm), en este último caso, el cormo se multiplica en un mayor número, pero en calibres muy bajos (4-5), siendo un problema al momento de generar material para una posterior floración, una vez que las plantas de azafrán alcancen el receso, los cormos pueden mantenerse en terreno o levantarlos del mismo, se recomienda mantenerlos debido al alto número de cormos que se alcanza y levantarlos en el año 4. En el caso de levantar los cormos del terreno, se deben almacenar inicialmente a temperaturas que fluctúan entre 27-30 °C, por no menos de 45 días hasta un límite de 90 días, esto ayuda a la diferenciación floral. Después se deben poner a temperaturas de entre 14-16 °C, por no menos de 45 días hasta un límite de 90 días para la inducción floral, para luego sembrar nuevamente en terreno.

9.2 Cultivo en mangas para inducir el crecimiento

Dentro del cultivo de azafrán, se pueden obtener cormillos de bajo calibre (menores a 5), los cuales no tienen capacidad de floración, por lo que se recomienda utilizar algún método de crecimiento o engorde de estos cormillos, para alcanzar el calibre deseado (8-9). Una alternativa es la utilización de mangas con sustratos instalados en invernaderos (Figura 32 y Figura 33), con la finalidad de emular las condiciones óptimas del terreno para la engorda del cormo, y así obtener cormos aptos para la floración en la temporada siguiente, estos cormos al mantener las condiciones ideales de crecimiento, en su etapa vegetativa, podrán aumentar el calibre. Este método se utiliza como un paso intermedio, ya que, al alcanzar el calibre deseado, se deben pasar a terreno para que siga el ciclo normal del cultivo. Este método permite alcanzar de dos a tres calibres más, en comparación con el cormo sembrado en terreno, por otro lado, promueve que el cormo madre alcance mayores calibres y que no se multiplique.



Figura 32. Sistema de mangas de engorda de cormos. Fuente: Propia.



Figura 33. Manga con cormos de calibre inicial 4-5, entrando en receso después de un ciclo de crecimiento. Fuente: Propia.

9.3 Cultivo *in vitro*

Hoy en día a nivel mundial, se han buscado diversas formas de optimizar los cultivos resguardando los recursos hídricos, promoviendo la propagación de individuos libres de enfermedades y a su vez clones, esto último para mantener una uniformidad en el desarrollo del cultivo con las características deseables de quien propaga, debido a estas razones, se ha desarrollado el cultivo *in vitro* de plantas, en donde se utiliza una matriz de crecimiento (medio de cultivo) (Figura 34), el cual, contiene los nutrientes necesarios para el desarrollo de cormos a partir de cortes meristemáticos de brotes auxiliares (Figura 35). En una primera instancia se usa un medio líquido para la absorción del nutriente y la aclimatación del corte realizado, luego un medio en forma de gel, en donde se adicionan hormonas (auxinas y citoquininas), sacarosa, minerales y vitaminas, y finalmente, un medio de engorda, en el que se retiran las hormonas y solo están presentes altas concentraciones de azúcares y nutrientes básicos.



Figura 34.- Explantes de cormos sembrados en medio de crecimiento. Fuente: Propia.

Uno de las desventajas de este tipo de cultivos, es la mano de obra especializada y el alto costo de los reactivos a utilizar, además, que es necesario el realizar un procedimiento para hacer crecer los cormillos producidos *in vitro*, ya que utilizando este método de cultivo no es posible alcanzar un calibre óptimo para alcanzar la floración en el corto plazo.

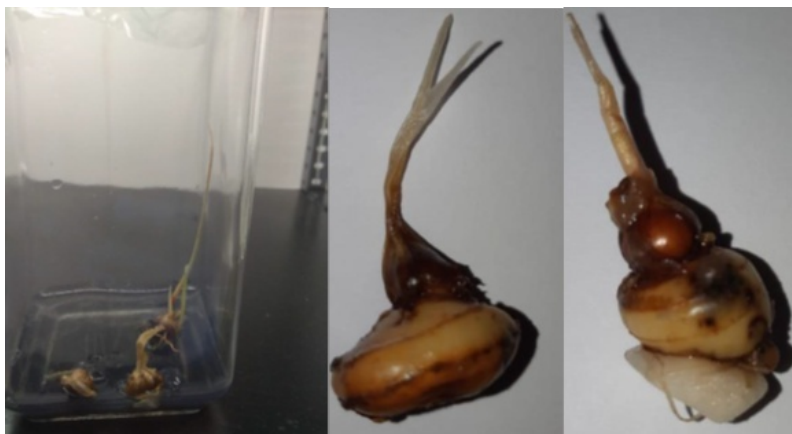


Figura 35. Cormos producidos *in vitro*. Fuente: Propia.

9.4 Mejoramiento genético

El mejoramiento genético en el área agronómica, está estrechamente relacionado en el aumento del rendimiento de algún carácter de interés comercial, por lo cual, en el caso del azafrán podemos tener dos aristas pertinentes, generación de cormillos y aumento de número de flores, en base a lo último, se han realizado estudios de heredabilidad, en donde se ha concluido que las características de número de cormillos producidos, peso y número de flores, son las de mayor importancia al momento de realizar algún mejoramiento genético, siendo los rasgos más heredables dentro de la amplia gama de caracteres que se pueden estudiar, esto va de la mano con el manejo agronómico que se le brinda al cultivo, y en su mayoría para alcanzar estos rasgos deseables, se han realizado bases de multiplicación de clones de cormos, para la obtención de cormos más grandes y un alto número de flores por corno (3-4), utilizando técnicas de multiplicación *in vitro*, desde individuos que en campo cumplan con las características deseables.

10. Manejo Postcosecha

Ingeniero en Alimentos

María Isabel Oliva Ekelund

10.1 Cosecha del Azafrán

La recolección del azafrán, se realiza temprano en la mañana, se recoge la flor, de donde se sacarán los estigmas o hebras de azafrán. Una vez separados y debidamente tostados o secados se denomina azafrán.

En la Pampa del Tamarugal, las primeras flores aparecen en el mes de abril, abarcando un periodo de 10 a 29 días. La recolección máxima de flores se logra en la mitad del periodo de cosecha, siendo considerablemente menor en el resto de días del periodo.

La recolección de los estigmas se realiza cogiendo una a una las flores. En la actualidad, existe la labor de recolección mecánica gracias a varios modelos de máquinas adaptadas para la cosecha. Este método presenta la ventaja de incrementar la eficacia en la recogida. Sin embargo, como desventaja presenta la obtención de impurezas en la recogida y pérdida de calidad, lo que el mercado reconoce al pagar un precio mas alto por la colecta manual.

Se recomienda tomar la flor por la base inferior del tallo, lo más abajo posible, utilizando los dedos índice y pulgar (Figura 36). La contaminación de las hebras con el polen, no las hace desechables, pero se castiga en el mercado con un precio menor. Se deberá cosechar temprano “con el frescor de la mañana”. Preferentemente antes de que las flores se abran, para no dañar las cualidades organolépticas del azafrán.



Figura 36. Forma de tomar la flor. Fuente: Propia.

10.2 Factores de la cosecha que afectan la calidad

Las crocinas que son las sustancias responsables del “color” son fotosensibles y el polen puede contaminar posteriormente al azafrán. Sin embargo, si el número de flores es grande, conviene seguir la recolección, ya que, si la flor no se cosecha, se abriría mucho, con lo que se dificulta su recogida y posterior proceso.

Las cajas de cosecheras ojalá sean canastas que permitan una buena aireación, las flores se ponen en capas de un máximo de 20 cm con la finalidad de que no se aplasten las flores y los estigmas se impregnen de polen.

10.3 Desbrizne

Las flores recogidas se trasladan al galpón donde se realiza la denominada “monda” o “desbrizne”. Se debe cuidar que no se produzca un aplastamiento ni calentamiento de las flores, intentando no amontonarlas. Una vez en el sitio de desbrizne, las flores se extienden en capas finas sobre sacos o lonas para su oreo. En la Pampa del Tamarugal las flores no pueden quedar expuestas al sol directo, este proceso no debe ser mayor a 8 horas. El desbrizne consiste en separar los estigmas de la flor, sin quebrarlos sin contaminarlos con polen (Figura 37).



Figura 37. Desbrizne de flores de azafrán. Fuente: [39].

La separación de los estigmas del resto de la flor se realiza según el siguiente procedimiento (Figura 38 y Figura 39):

Paso 1



Se toma la flor con la mano izquierda, y con la uña del dedo pulgar se corta el “tubo” de la misma por debajo de la inserción de los estigmas.



Figura 38. Proceso de desbrizne en flores de azafrán. Fuente: [39].



Paso 2. Tome la flor ahora con la mano derecha



Paso 3. Ahora tome los estigmas y proceda a cortar.

Figura 39. Forma de extraer los estigmas. Fuente: [39]

NO corte demasiado alto los estigmas, ya que se separarán los tres. Ni demasiado bajos, porque quedarán unidos el estilo que es de color amarillo y contamina el producto.

Recuerde deben salir los tres estigmas pegados y separados del estambre.

10.4 Procedimiento de secado

En países con climas fríos el azafrán se tuesta.

El azafrán, tal como queda tras el proceso de desbrizado se conoce como azafrán en verde. Este azafrán contiene un 90 % de agua, y por lo tanto este exceso de agua debe ser rebajado a un 10%, para su conservación, manipulación y comercio. Para esta operación los estigmas cosechados se colocarán, en capas de unos dos centímetros, en cedazos de tela metálica fina o tela de seda (Figura 40), poniéndolo sobre una estufa caliente,

braseros, brasas de fuego o rústicos fuegos caseros, obteniendo el azafrán, producto seco y adecuado para su comercialización. Esta fuente de calor utilizada deberá proporcionar calor de una manera suave, constante, uniforme e indirecta con el fin de no comunicar sabores u olores extraños al azafrán. El tiempo total de secado está comprendido entre 20 – 45 minutos.



PARA SECAR LOS ESTIGMAS EN EL CASO DE LA PAMPA, HAY QUE PONERLOS A TEMPERATURA AMBIENTE DURANTE EL DÍA.

Figura 40. Secado del azafrán. Fuente: [39]

Para obtener 1 Kg de azafrán tostado o seco, ya producto comercial, se necesitan aproximadamente 5 kg de azafrán en verde (estigmas frescos).

Los signos exteriores más significativos se evidencian en el tamaño de los estigmas, que una vez tostados quedan reducidos a unos 2 cm de longitud. Ofreciendo un color rojo oscuro y opaco, sin restos de color amarillo de los estambres ni violáceos de los pétalos, con un aroma muy característico. También existe la posibilidad de realizar el secado mediante estufas eléctricas a una temperatura de 35 ° C, durante 6 horas aproximadamente.



Estigmas de flor de azafrán

Azafrán especia

Figura 41. Comparación entre azafrán Fresco y especia. Fuente: [27]

Logrado el 10% de humedad, la conservación queda asegurada por un periodo 7 – 8 años.

El azafrán una vez tostado o seco se guarda en envases de calidad alimentaria que aíslen el contenido de la humedad, luz y aire. Es importante preservarlo de la humedad porque ésta le haría perder sus características naturales de tersura y color.

También de la luz porque afecta gravemente sobre el color, cambiándolo paulatinamente a más claro. Estas dos cualidades resulta imprescindible conservarlas no solo con vistas a su consumo, sino en orden alcanzar la calidad requerida de acuerdo a unas normas legales vigentes, en función de las cuales se establece la categoría y precio del producto.

11. Envases

Ingeniero en Alimentos

María Isabel Oliva Ekelund

Según el reglamento de envasado chileno se denomina envase a cualquier recipiente que contenga alimentos como producto único, que los cubre total o parcialmente y que incluye embalajes y envolturas. Un envase puede contener varias unidades o tipos de alimentos envasados”.

Indica, además, que “los utensilios, recipientes, envases, embalajes, envoltorios y aparatos destinados a la elaboración, conservación, fraccionamiento y distribución de los alimentos, deberán estar contruidos o revestidos con materiales resistentes al producto y no cederán sustancias tóxicas, contaminantes o modificadoras de los caracteres organolépticos o nutricionales de dichos productos”.

Además, los envases y los empaques se usan para atraer e informar a los consumidores. Los materiales utilizados han evolucionado desde las hojas de palma o plátano hasta complejos envases multicapas que no requieren refrigeración, así como otros de tipo activo o inteligente [40,41].

El envase, por lo tanto, se considera el principal componente en la comercialización de productos, ya que es el primer contacto con el consumidor. El envase primario, o unidad de venta, representa la carta de presentación porque cumple con el Manual del etiquetado nutricional del MINSAL (Ministerio de Salud) y contiene toda la información que las autoridades competentes exigen para la comercialización, además que se asocian con las estrategias que se despliegan para que el consumidor se decida por un producto y no por otro.

En el sector de alimentos, el envase es fundamental durante su ciclo logístico, porque es la principal protección con la que cuenta el producto para conservar todas sus características organolépticas y contra el ataque de microorganismos, moléculas de aromas, oxígeno y vapor de agua, así como de macroorganismos como animales y plagas [41].

Se conocen en el mercado seis tipos de materiales básicos de envases: plásticos, metálicos, cartón, papel, madera y vidrio, y un séptimo que se obtiene de la mezcla de dos o más de los materiales en mención, conocidos como envases complejos. Estos siete tipos de envases tienen ventajas y desventajas, es por eso que no existe el envase perfecto.

Esto hace que escoger el envase no sea algo trivial, se debe tener mucha precaución al definir el material de envase que va a proteger, conservar, comercializar y permitir la manipulación de ese alimento en particular. Sin embargo, para la elección del envase adecuado hay que tener en cuenta las propiedades del alimento y también el mercado al cual se quiere llegar con el producto [42].

La finalidad del envasado del azafrán hay que fundamentarla en tres objetivos concretos:

- Conseguir que el producto llegue al consumidor sin haber perdido ninguna de sus cualidades intrínsecas dietéticas, saborizantes y aromatizantes.
- Proteger al producto de posibles alteraciones o deterioros por la acción de agentes químicos o biológicos.
- Preservar al producto, en la medida de lo posible, de una reinfección bacteriológica que contrarrestaría la inhibición biológica lograda a través de la esterilización.

Para conseguir los objetivos el envasado de azafrán debe observarse las siguientes normas:

- Que el material de fabricación de los envases resulte compatible, químicamente con el azafrán.
- Que el envase sea impermeable tanto a la evaporación de sus componentes aromáticos como al vapor de agua, así como a la penetración de olores extraños procedentes de otros productos que pudieran almacenarse junto a la especia.

•Que el tapón o junta del envase garantice el cierre hermético del mismo.
El azafrán en la actualidad se envasa de tres maneras diferentes (Figura 42):

•Cajas de latón forradas interiormente de papel o de plástico flexible, si se trata de volúmenes de azafrán apreciables como $\frac{1}{4}$ de Kg, $\frac{1}{2}$ Kg, $\frac{1}{4}$ de libra, $\frac{1}{2}$ libra, 1 libra.

•Fascos de vidrio transparente, si se trata de cantidades de cuantía mínima, expresada en gramos o fracciones de gramos (0,5 g).

•Envases de plástico rígido transparente cuando el contenido es de mg (150 mg).



Figura 42. Tipos de envases para el azafrán

La mayoría de estos envases presentes en el mercado ofrecen una gran vistosidad, con etiquetas en colores atractivos, en las que consta nombre de producto, indicación de la marca, número de registro, código de barras, fecha límite aconsejable de consumo y en numerosas ocasiones aquellos platos en que está indicado su uso. Al tratarse de una especia tan cara como el azafrán, el peso se realiza en balanza de precisión y el llenado, salvo en algunas empresas que comercializan al propio tiempo muchos otros productos, se efectúa manualmente.

El mercado de los productos gourmet crece con fuerza dentro del sector alimenticio, el packing o envasado que envuelve el producto tiene una importancia mayor teniendo en cuenta que este es parte de la experiencia de compra que el consumidor quiere vivir al comprar un producto determinado.

Por otra parte, para realizar un estudio de estas características es necesario delimitar lo que se entiende por “Gourmet” o “Premium”. Un producto Gourmet se define como un producto caracterizado por su calidad, personalidad y relación con el territorio. Estos elementos suponen un diferencial de precio respecto a la media y es necesario que la marca aporte un valor tangible e intangible acorde a este posicionamiento. Esto implica que el envase tiene que cumplir también con este punto.

También hay que considerar que hoy día, los consumidores que buscan un producto gourmet prefieren comprar productos que vienen envasados en madera, cartón, vidrio o metal, como un compromiso con el medio ambiente.

Por esta razón, para el proyecto se consideró un envase de vidrio. El cual no mantiene ninguna interacción química con su contenido y puede almacenar cualquier producto por toda su vida útil. No permite el traspaso de oxígeno o gas carbónico, por lo tanto, no altera el color ni el sabor del contenido. Es amigable con el medio ambiente al ser reutilizable (Figura 43).



Figura 43. Envases conteniendo azafrán del Tamarugal. Fuente: Propia.

12. Calidad del Azafrán

Ingeniero en Biotecnología
José Delatorre Castillo

12.1 Características de la calidad del azafrán

El azafrán es una de las pocas especias capaz de transmitir color, sabor y aroma a los alimentos. Por lo tanto, se puede decir, que el mejor azafrán, es aquel que posee la mayor cantidad de compuestos responsables de aportar estas características. En lo que respecta al sabor, el responsable principal es la picrocrocina, en cuanto al color, es un pigmento denominado crocetina y en el aroma es el safranal.

12.2 Especificaciones de las normas de calidad del azafrán

Entre los parámetros intrínsecos se encuentran parámetros físico-químicos como la humedad, el contenido de restos florales o materias extrañas, el contenido de cenizas, el extracto soluble, el poder colorante y las propiedades organolépticas. Los parámetros físico-químicos se determinan mediante diferentes técnicas analíticas y se emplea como referencia una serie de normas internacionales entre la que destaca la Norma ISO 3632, la cual es exclusiva de esta especia. En la tabla 16 se muestra un resumen de estas normas.

Tabla 16. Especificaciones de calidad del azafrán.

ESPECIFICACIONES DEL AZAFRAN				ESPECIFICACIONES DEL AZAFRAN			
CARACTERISTICAS	REQUERIMIENTO		MODO DE PRUEBA	CARACTERISTICAS	REQUERIMIENTO		MODO DE PRUEBA
	Hebras	Molido			Hebras	Molido	
Humedad y materia volatil % (m/m). máx	12	10	ISO 3632-2	Safranal, expresado como una lectura directa de la absorbancia a 330 nm. sobre una base seca. Todas las categorías Min. Max.	20 50		ISO 3632-2
Cenizas totales, % (m/m) sobre una base seca, máx.	8	8	ISO 928 & ISO 3632-2				
Cenizas insolubles en acido % (m/m) sobre una base seca max. Categoría I & II Categoría III	1.0	1.5	ISO 930 & ISO 3632-2	Poder colorante, expresado como una lectura directa de la absorbancia de crocina a 440 nm. sobre una base seca. Min. Categoría I Categoría II Categoría III	190 150 100	190 150 100	ISO 3632-2
Solubilidad en agua fria % (m/m) sobre una base seca. Máx.	65	65	ISO 941				
Amargor expresado como una lectura directa de la absorbancia de picrocrocina a 257 nm. sobre una base seca. Min. Categoría I Categoría II Categoría III	70 55 40		ISO 3632-2	Total nitrogeno, % (m/m) sobre una base seca. Máx.	3.0	3.0	ISO 1871
				Fibra bruta, % (m/m), sobre una base seca, máx.	6	6	ISO 5498

Fuente: ISO 3632, 2011.

12.3 Técnicas para la determinación de adulteraciones: TLC, HPLC, análisis microscópico

El azafrán, es probablemente la especia que más adulteraciones ha sufrido a lo largo de los tiempos por su elevado valor de mercado. Se trata de un producto que debe estar exento de cualquier adulteración, entendiéndose como tal, por ejemplo, las adiciones de materia mineral, aceites de oliva o melazas para incrementar su peso y la adición de colorantes para mejorar su aspecto.

Algunas de las adulteraciones que se han encontrado en el azafrán a lo largo de la historia aparecen recogidas en la tabla 17

Tabla 17. Formas de adulteración del azafrán.

Formas de adulteración	ADULTERACIÓN CONSISTENTE EN:
Sin adición de sustancias extrañas	Mezcla con azafrán extractado o viejo
Adición de otras partes de la planta de azafrán	Adición de estambres o del perigonio cortado a tiras y teñido
Adición de sustancias que aumentan el peso	1.- Incremento de la humedad. 2.- Impregnación con jarabes, miel, glicerina o aceites de oliva 3.- Adición a los jarabes anteriores de sulfato de bario, sulfato de sodio, sulfato de calcio, carbonato de calcio, hidróxido de potasio, nitrato de potasio, tartrato doble de sodio y potasio, borato de sodio, lactosa, almidón o glucosa.
Adición de partes de otras plantas	1.- Flores de <i>Carthamus tinctorius</i> . 2.- Flores de <i>Calendula officinalis</i> . 3.- Estigmas de otras especies de <i>Crocus</i> generalmente más cortas y sin propiedades tintóreas (<i>Crocus vemus</i> , <i>Crocus speciosus</i> , etc). 4.- Flores cortadas en tiras de <i>Papaver rhoeas</i> L., <i>Punica granatum</i> , <i>Amica montana</i> y <i>Scolimus hispanicus</i> . 5.- Estambres de algunas especies de clavel. 6.- Pimiento rojo molido. 7.- Plantas herbáceas cortadas en trozos y teñidas con un colorante azóico. 8.- Raicillas de <i>Allium porrum</i> . 9.- Polvo de leño de sandalo y de palo de campeche. 10.- Cúrcuma.
Adición de sustancias animales	Fibras de carne salada desecada.
Adición de productos artificiales	Hilos de gelatina coloreados.
Adición de colorantes orgánicos	Amarillo de Martins, tropeolina, fucsina, ácido picrico, tartracina, eritrosina, escarlata o ponceau 4R, azorrubina, amarillo de quinoleína, amarillo anaranjado, naphtol amarillo, rojo 2G, amárantero, anaranjado II, rocelina, rojo allura.

Fuente: [13]

Para la detección de adulteraciones, se emplean tres técnicas diferentes: la cromatografía en capa fina (TLC), la cromatografía de líquidos de alta eficacia (HPLC) y el análisis microscópico, que se describen detalladamente en el anexo.

En el caso de que se utilice TLC para detectar la presencia de adulteraciones, los casos positivos se deben confirmar por cromatografía de líquidos de alta eficacia (HPLC), que es una técnica mucho más sensible.

Actualmente, la Especificación Técnica ISO 3632 propone la utilización de esta técnica para identificar los pigmentos propios del azafrán y para detectar la presencia de colorantes ácidos hidrosolubles en esta especia. La técnica de HPLC se utiliza para determinar tres aspectos diferenciados de la especia:

- Identificación de los pigmentos responsables del poder colorante del azafrán (crocinas).
- Detección de adulteraciones con colorantes artificiales, ácidos hidrosolubles, siguiendo lo establecido en la Especificación Técnica ISO 3632.
- Detección de adulteraciones con colorantes liposolubles.

12.4 Técnicas para la determinación de componentes extraños al producto

12.4.1 Residuos de pesticidas

La legislación nacional no ha establecido límites específicos para residuos de pesticidas en las especias. Sin embargo, es conveniente que las especias y condimentos no presenten residuos de pesticidas, en especial el azafrán.

En la actualidad, el marco legislativo chileno tiene establecidos los límites máximos de residuos (LMR) y los límites máximos de residuos extraños de plaguicidas (LMRE) para una gran cantidad de plaguicidas. El análisis de pesticidas se lleva a cabo mediante cromatografía de gases (GC) y, preferentemente, con detección mediante espectrometría de masas (MS).

12.4.2 Microbiológico

La Especificación Técnica ISO 3632 no hace referencia a especificaciones concretas respecto a la carga microbiológica. La legislación chilena remite a la Reglamentación Sanitario de Alimentos (RSA) para la elaboración, circulación y comercio de condimentos y especias (Tabla 18).

Tabla 18. Carga microbiana aceptable en los condimentos.

Parámetro	Plan de muestreo		n	c	Límite por gramo	
	Categoría	Clases			m	M
Rcto. Aerobios Mesóf.	2	3	5	2	10^6	10^7
Mohos	5	3	5	2	10^4	10^5
C. perfringens	5	3	5	2	10^2	10^3
Salmonella en 50 g	10	2	5	0	0	-

Fuente. [35]

12.5 Calidad del azafrán en la Pampa del Tamarugal

La calidad del azafrán de la Pampa del Tamarugal es **categoría I**, presenta valores para Safranal (aroma) de 102, Picrocrocina (sabor) 142 y Crocina 213 (color). Estos valores están 102%, 102% y 12% respectivamente sobre la norma ISO 3632 (2011), esto no resulta tan extraño debido a que varios investigadores han demostrado que las condiciones ambientales y los métodos de secado afectan las concentraciones de estos compuestos en el azafrán

13. Usos medicinales

Ingeniero en Biotecnología José Delatorre Castillo

El azafrán, desde la antigüedad es conocido por sus singulares características y composición química, y ha sido considerado como fuente de salud debido a sus cualidades infinitas y demostradas. Presenta actividad antidepresiva [44,45] actividad antitumoral y anticarcinogénica, además de mostrar efectos citotóxicos y antimutagénicos. Los ensayos de toxicidad celular *in vitro* demostraron que los extractos de estigmas de azafrán inhibían el crecimiento y la síntesis de ácidos nucleicos en células tumorales, mientras que las células normales eran menos sensibles o incluso totalmente insensibles. Se han encontrado componentes proteicos de alto peso molecular en el cormo de azafrán, que actuaban como activadores o inhibidores de la agregación de plaquetas humanas [46]. Estos estudios de actualidad y la eficacia de la acción del azafrán contra enfermedades oncológicas pone de manifiesto el interés del *Crocus sativus* como potencial productora de compuesto de importancia farmacológica o industrial, de alto valor añadido, que ha llevado a su estudio por parte de biólogos y médicos para prevención y búsqueda de nuevos tratamientos contra el cáncer, siendo éste la segunda causa de mortalidad en el mundo, y no existiendo fármacos eficaces contra él, hace que éstos descubrimientos para dar con una molécula con actividad antitumoral sean una esperanza para el futuro. Además de éstos son muchos los campos de aplicación que se le atribuyen al azafrán en este sector, desde propiedades terapéuticas sumamente variadas, hasta sus excelentes resultados en el tratamiento relacionado con el órgano femenino. Enfermedades de órganos genitales, la regulación y el alivio de las menstruaciones, son algunas de las aplicaciones del azafrán [47]. Se ha demostrado que el efecto terapéutico es asignado a una acción congestiva que se manifiesta a nivel del útero medida por el flujo sanguíneo. Los análisis químicos de los extractos del azafrán, revelan que sus componentes característicos son los carotenoides crocina (principio colorante) y crocetina, y los aldehídos monoterpénicos picrocrocina y safranal [48]. De entre ellos, se han demostrado los efectos quimiopreventivos de las crocinas contra agentes hepatocarcinogénicos y la

inhibición de la síntesis de ácidos nucleicos por la crocetina [49, 50]. Se ha descrito que el azafrán favorece la asimilación de lípidos. La crocetina, componente carotenoide del azafrán, incrementa la difusión de oxígeno en el plasma sanguíneo, por lo que se ha mostrado su efecto contra la arteriosclerosis y como reductor de los niveles de colesterol en sangre [51]. También el azafrán tiene un efecto beneficioso contra las enfermedades cardiovasculares y utilizado también en la actualidad por su efecto sedante y espasmódico, que, en dosis limitadas, calma los dolores de estómago y los cólicos [52]. En sobredosis el azafrán tiene un efecto embriagador y hasta alucinógeno pudiendo traer la muerte por hemorragia interna. A razón de 10 a 12 gramos el azafrán es mortal para el ser humano. En un primer estado aparece un acceso hilarante, y en un segundo estado del envenenamiento se observa una aceleración del ritmo cardíaco, vértigos, alucinaciones y, progresivamente, una parálisis el sistema nervioso central, lo que entraña la muerte [53].

14. Usos alimenticios del azafrán

Ingeniero en Alimentos

María Isabel Oliva Ekelund

Ingeniero en Biotecnología

José Delatorre Castillo

14.1 El sector alimenticio.

El azafrán según el Código Alimentario chileno (2019) es un: “Producto constituido por los estigmas florales desecados de la planta *“Crocus Sativus L.”* con tolerancias máximas de estilos y restos florales que se especifican para las diversas calidades en la reglamentación”. La utilidad que ofrece el azafrán en este sector, va a ser para su aplicación en condimentación, como especia. Caracterizado por su sabor amargo proporcionado por la picrocrocina, aroma y fundamentalmente por su acción colorante debida a la crocina. Esta acción colorante es la que fundamentalmente produce su demanda, debido al color con el que dota a los alimentos además de por sus propiedades como especia. La palabra especia va ser utilizada en muchos casos como un sinónimo de condimentación. El código Alimentario chileno define como condimento aromático o especia a: “plantas o partes de ellas (raíces, rizomas, bulbos, hojas, cortezas, flores, frutos y semillas) que contienen sustancias aromáticas, sápidas o excitantes, o sus principios activos suspendidos en un soporte alimenticio adecuado, empleadas para condimentar alimentos y bebidas.”. Esta definición hace referencia a las características organolépticas de estas plantas: olor, sabor, color que, al aportarlo a los alimentos, hace que éstos sean más apetitosos, gratos y sabrosos al olfato, vista y paladar. Pero esta característica sazonzadora, sólo es una acción parcial de las especias. Los propios componentes las dotan de altas propiedades que actúan en la conservación de los alimentos, estimulan y facilitan la digestión y la complementan con su valor nutritivo y mineralizante [13].

14.2 Propiedades y usos de los condimentos.

Los condimentos en la ingestión y la digestión: Como colorantes, aromatizantes y saborizantes, las especias activan las glándulas salivares, que regulan el equilibrio entre las sensaciones de hambre y saciedad, preciso para mantener el peso adecuado. Igualmente, estimulan las demás glándulas digestivas, gástricas, hepáticas y endocrinas, que facilitan la digestión. Los principios activos responsables de esta acción son los alcaloides, pero es requerido tomar en pequeñas cantidades, ya que en cantidades mayores pueden ser perjudiciales.

El azafrán no tiene valor nutricional, pues las ingestas alimentarias tienen una cantidad mínima de carbohidratos, grasas, proteínas y fibra. Yadollahi [48] destacan la riqueza en fitoquímicos, que actúan como antioxidantes del organismo:

Pirocrocina: Componente responsable del sabor amargo del azafrán. Posee propiedades eupépticas y aperitivas.

Crocina y la Crocetina: Son pigmentos naturales de color rojo intenso, responsables de poder colorante del azafrán. Efecto colerético y antioxidante para la salud cardiovascular.

Safranal: Responsable del aroma del azafrán. Posee componentes beneficiosos para la salud ocular. El azafrán auténtico no contiene gluten, por lo que es apto para celíacos, en tanto que los adulterados pueden contener gluten.

14.3 Condimentos para la cocina.

Las cualidades gastronómicas del azafrán resultan interminables. El arte culinario o la buena gastronomía comienzan por condimentar un plato. El azafrán posee un aroma fuerte y exótico, así como un sabor ligeramente amargo. Se convierte en un magnífico saborizante capaz de transmitir aromas profundos, suaves, tiernos y redondos. Pese a todos los avatares, la cocina selecta (sobre todo la mediterránea), continúa utilizando el azafrán en

una variadísima gama de platos de cocina, a base de arroz, estofados, guisados, caldos y asados de carnes, pescados, etc. Se confeccionan de forma muy variada, según las regiones. Especia que, además, en repostería y panadería confiere un agradable color dorado a pasteles y panes. En España, un plato tan emblemático como es la paella, cuenta como especia indisolublemente asociada, el azafrán. La manera de utilizarlo – dosis óptima estimada entre 6 a 10 hebras – es al final de las comidas, y siempre que sean cocinadas, diluidas en agua, o bien en caldo del guiso, entre 10 a 15 minutos antes de acabar la cocción; así coinciden en recomendarlo los mejores gastrónomos.

14.4 El azafrán en la cocina

El azafrán se utiliza en la cocina en diversas preparaciones: arroces, caldos, legumbres, patatas, postres, bebidas y salsas.

El arroz con azafrán es el más conocido. Hay varios métodos para utilizarlo en la cocina. Todo el estigma se puede añadir a las preparaciones, o muchas veces, los hilos se muelen para usando mortero y se añade a las recetas.

El otro método, se añade una pizca de azafrán a una taza de agua caliente, y luego se añade esta agua a las recetas. Sólo una pizca de azafrán fresco es suficiente para mejorar el sabor y el color de la receta completa.

Sin embargo, hoy se encuentran recetas de azafrán en preparaciones diversas como; Velos de azafrán con macarrón y helado de té, Arroz con verduras y conejo al azafrán, Mejillones en tempura con mayonesa de azafrán, merluza con alioli de azafrán, Salmón con espárragos y mayonesa de azafrán, Sardinias rellenas con verduras al azafrán, Tiras de calamar con setas al azafrán, entre otras.

Las hebras de azafrán se pueden ingresar a las preparaciones de distintas formas, como las que se indican a continuación. [54]

Método 1: Triturar e infusionar

Triture las hebras de azafrán machacándolas en un mortero. Añada agua caliente, pero sin hervir y deja reposar al menos 10 minutos o hasta el momento de incorporar al guiso.

Método 2: Triturar

Triture las hebras en el mortero, añada las hebras trituradas sobre el sofrito o el plato que sea.

Método 3: Infusionar sin triturar

Introduzca las hebras de azafrán en una bolsa de vacío o de cierre zip, añadas agua hasta llenar la bolsa, la ciérrela y póngala al baño maría a 65°C. Deje infusionar al vacío a baja temperatura durante unas 5 horas. Esta infusión dura en refrigeración aproximadamente 20 días. También se puede congelar en cubitos con una durabilidad de meses.

Las recomendaciones de cantidad ideal de azafrán que se debe usar por preparación son:

- Una ración de 7 hebras por taza de arroz a preparar. En este caso se aconseja usar el método 1 y añadir la infusión justo después de añadir el arroz o con el caldo de cocción.
- Una ración de 8 hebras para cocinar escabeches, legumbres, guisos de carne o de pescado, salsas, purés, cremas, sofritos, revueltos, tortillas y rebozados. Para estos platos se aconseja usar el método 2. En los guisos puede hacerse al principio de la cocción o a falta de 3 minutos para preservar los aromas. En tortillas y revueltos se añade directamente al huevo.

- Una ración de 12 hebras para recetas dulces como helados, bombones, masas de bizcocho, cremas para coberturas y rellenos y natillas. De nuevo, el método 2 es el más adecuado, añadiéndose el azafrán triturado en el momento de añadir los ingredientes líquidos.

Otras incursiones gourmet que se han realizado, es usar los pétalos de las flores de azafrán en la elaboración de mermelada de pétalos y ensamblaje de mermelada de mandarina con mermelada de pétalos de flores de azafrán. Productos que se desarrollaron en la Universidad Arturo Prat.

Mermelada de pétalos de Flores del Azafrán

Paso 1



Junte los pétalos de las flores que quedan después del desbrizne.

Paso 2



Se separan los pétalos, se cosechan los estigmas (rojos) y se eliminan los pistilos (amarillos).

Paso 3

Lave los pétalos de azafrán muy bien para evitar que se introduzca algún elemento extraño dentro de la mermelada, además corte la parte inferior de cada pétalo, ya que pueden dar un gusto amargo a la mermelada.

Paso 4



Disponga 250 g de pétalos en un bol de vidrio con 250 g de azúcar y el zumo de un limón, dejando que macere como mínimo por 60 minutos.

Paso 5



En una olla ponga a hervir los 100 mL de agua, y añada la mezcla macerada de los pétalos. Cueza alrededor de 45 minutos, y casi al finalizar la cocción, añada la pectina en polvo y mezclar con una paleta de madera a fuego lento, 5 minutos más. La mermelada debe llegar a 67° brix, para que tome consistencia, se le debe agregar pectina.

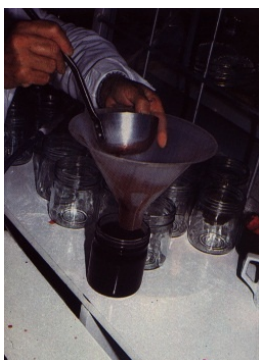
Paso 6



Mientras la mermelada toma punto, proceda a lavar los envases de vidrio que usará para envasar la mermelada. Una vez lavados y estilados agregue a cada frasco agua hirviendo, después de tres minutos elimine el agua y deje los frascos boca abajo sobre un paño limpio y planchado. Agregue agua hirviendo a las tapas siguiendo el mismo procedimiento descrito para los frascos.



Paso 7



Una vez que la mermelada haya tomado la consistencia deseada, procede a envasar, lo más importante, el envasado debe ser “EN CALIENTE” y debe tener una buena tapa para que así la mermelada tenga una vida prolongada.

Paso 8



Una vez lleno el envase, tápelo; de vuelta el envase para esterilizar las tapas.

Paso 9

Etiquete y almacene

Elaboración de mermelada de mandarinas

Paso 1



Escoja un kilo de las mandarinas, que tengan un color uniforme y no presenten daños.

Paso 2



Proceda a pelar las mandarinas escogidas. Deje dos sin pelar.

Paso 3



Retirar todas las semillas de su interior, así como la mayor parte posible de las fibras blancas que tienen adheridas en cada uno de sus gajos.

Paso 4



A continuación, tome las 2 mandarinas sin pelar y ralle su piel. La piel rallada de estas mandarinas servirá para darle un toque decorativo especial a la mermelada, así como un aroma mucho más intenso a mandarina.

Paso 5

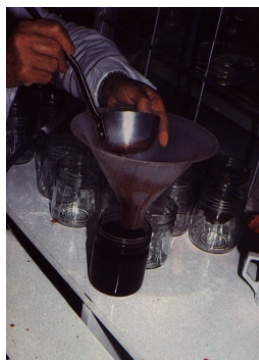
Coloca todos los gajos de mandarina en una olla, añade 500 gramos de azúcar y el zumo de un limón, que previamente debes haber extraído con la ayuda de un exprimidor. Una vez que hierva pon el fuego a una temperatura media y deja que todo se vaya cocinando hasta que el azúcar se haya disuelto de forma adecuada. Este proceso tardará unos 10 minutos aproximadamente, luego cuece todo durante unos 30 o 45 minutos hasta que se terminen de integrar entre ellos. Ve removiendo la mezcla de vez en cuando para evitar que se pegue en el fondo de la olla. Adiciona cuando falten 5 minutos la ralladura, mezclando hasta que quede todo incorporado.

Paso 6

Mientras la mermelada toma punto, procede a lavar los envases de vidrio que usará para envasar la mermelada. Una vez lavados y estilados agrega a cada frasco agua hirviendo, después de tres minutos elimina el agua y deje los frascos boca abajo sobre un paño limpio y planchado. Agrega agua hirviendo a las tapas siguiendo el mismo procedimiento descrito para los frascos.



Paso 7



Una vez que la mermelada haya tomado la consistencia deseada, procede a envasar, lo más importante, el envasado debe ser “EN CALIENTE” y debe tener una buena tapa para que así la mermelada tenga una vida prolongada.

Paso 8



Una vez lleno el envase, tápelo; de vuelta el envase para esterilizar las tapas.

Paso 9

Etiquete y almacene

Elaboración de mermelada de mandarinas y pétalos de azafrán

Para obtener este producto mezcle ambas mermeladas en una proporción de 80% de mermelada de mandarinas y 20% de mermelada de pétalos de azafrán.

15. Bibliografía

1. Saffron. *Crocus sativus* L., Edited by Moshe Negbi, 1999. 154 pp. Several tables, some line drawings and colour pictures. Bibliographies. Harwood Academic Publ. I Overseas Publ. Ass., Amsterdam (Medicinal and Aromatic Plants — Industrial Profiles, Vol. 8). ISBN 90-5702-394-6/ISSN 1027-4502.
2. Abdullaev FI, Frenkel GD (1999). Saffron in biological and medical research. In: Negbi M, Ed. Saffron *Crocus sativus* L. Amsterdam: Harwood Acad. Publishers, 103–113.
3. Abrishami MH. 1997. Persian Saffron, a Comprehensive Cultural and Agricultural History. Mashhad, Astan Ghods Razavi Publication.
4. Caiola, M. 1999. Reproduction biology of saffron and its allies, M. Negbi (Ed.), Saffron: *Crocus sativus* L., Harwood Acad. Publ., Amsterdam, pp. 31-44
5. Mathew B 1999. Botany, Taxonomy and Cytology of *C. Sativus* L. and Its Allies. In Saffron. CRC Press, pp. 19-30.
6. M. Negbi, O. Negbi. 2002. The painted plaster floor of the Tell Kabri palace: reflections on saffron domestication in the Aegean Bronze Age E.D. Oren, S. Ahituv (Eds.), Aharon Kempinski Memorial Volume, Ben-Gurion Univ. Press, Beer-Sheva, pp. 325-340.
7. N. Jacobsen, M. Ørgaard. 2004. *Crocus cartwrightianus* on the Attica peninsula Acta Hortic., 650, pp. 65-69.
8. Zahra Nemati, Dörte Harpke, Almila Gemicioglu, Helmut Kerndorff, Frank R. Blattner. 2019. Saffron (*Crocus sativus*) is an autotriploid that evolved in Attica (Greece) from wild *Crocus cartwrightianus*, Molecular Phylogenetics and Evolution, Volume 136, Pages 14-20, ISSN 1055-7903.
9. Brighton CA. 1977. Cytology of *Crocus sativus* and its allies (Iridaceae). Plant Syst. Evol. 128: 137-157.
10. Ghaffari SM. 1986. Cytogenetic studies of cultivated *Crocus sativus* (Iridaceae). Plant. Syst. Evol. 153: 199-20
11. Tsafaris A, Pasentsis K, Makris A, Darzentas N, Polidoros A, Kalivas A, Argiriou A. 2011. The study of the E-class SEPALLATA3-like MADS-box genes in wild-type and mutant flowers of cultivated saffron *Crocus* (*Crocus sativus* L.) and its putative progenitors. Plant Phys 168:1675-1684.

12. Harpke D, Meng S, Kerndorff H, Rutten T, Blattner FR. 2013. Phylogeny of *Crocus* (Iridaceae) based on one chloroplast and two nuclear loci: ancient hybridization and chromosome number evolution. *Mol Phylogenet Evol* 66:617-627.
13. Herrero, G. 2002. Estudio sobre el Azafrán. Escuela Universitaria Politécnica de Zaragoza. Cód A.202.57. 115p. España.
14. Mashayekhi, S y Hosseinzadeh, M. 2015. Effects of soil conductivity on properties of saffron corms and *in vitro* production of its style explants. *Progress in Biological Sciences* Vol. 5, Number 2. 273-286.
15. Kumar, Rakesh, Singh, Virendra, Devi, Kiran, Sharma, Madhu, Singh, M. K. y Ahuja, P. S. 2009. State of Art of Saffron (*Crocus sativus* L.) Agronomy: A Comprehensive Review', *Food Reviews International*, 25:1,44 — 85.
16. Molina, J.A.; Requena, S.A. 1968. El Azafrán: Hoja divulgadora 13-68-H; Ministerio de Agricultura: Madrid, España.
17. Wilkins, H.F. 1985. *Crocus vernus: Crocus sativus*. In *Handbook of Flowering*, Vol. 2; Halevy, A.H.; Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL. 350–355.
18. Molina, R.V.; Valero, M.; Navarro, Y.; Guardiola, J.L.; Garcia-Luis, A. 2005. Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). *Sci. Hortic.* 2005, 103, 361–379.
19. Milyaeva, E.L.; Azizbekova, N.S. 1978. Cytophysiological changes in the course of development of stem apices of saffron *Crocus*. *Soviet Plant Physiol.* 25, 227–233.
20. Azizbekova, N.Sh.; Milyaeva, E.L. 1999. Saffron cultivation in Azerbaijan. In *Saffron: Crocus sativus* L.; Negbi, M.; Ed.; Harwood Academic Publishers: Amsterdam, The Netherlands. 63–71.
21. Duke, J.A. 1979. Ecosystematic data on economic plants. *Quarterly J. Crude Drug Res.* 17, 91–110.
22. Plessner, O.; Negbi, M.; Ziv, M.; Basker, D. 1989. Effects of temperature on the flowering of the saffron (*Crocus sativus* L.): induction of hysteranthly. *Israel J. Bot.* 38, 1–7.
23. Molina, R.V.; Garcia-Luis, A.; Coll, V.; Ferrer, C.; Valero, M.; Navarro, Y.; Guardiola, J.L. 2004. Flower formation in the saffron *Crocus* (*Crocus sativus* L.). The role of temperature. *Acta Hort.* 650, 39–47.

24. Bleiholder H, van den Boom T, Langeluddeke P, Stauss R, 1989. Einheitliche Codierung Der Phanologischen Stadien Bei Kultur-Und Schadpflanzen. Gesunde Pflanzen 41: 381-384.
25. Hack H, Bleiholder H, Buhr L, Meier U, Schnock-Fricke U, Weber E, Witzemberger A, 1992. Einheitliche Codierung der Phanologischen Entwicklungsstadien Mono und Dikotyle Pflanzen–Entweirterte BBCH-Skala. Allge
26. Lopez-Corcoles H, Brasa-Ramos A, Montero-García F, Romero-Valverde M, y Montero-Riquelme F. 2015. Phenological growth stages of saffron plant (*Crocus sativus* L.) Spanish Journal of Agricultural Research. 13(3), e09SC01. <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2015133-7340>
27. Yasmin, S y Nehbi. 2018. Phenological growth stages of saffron (*Crocus sativus* L.) under temperature conditions of Jammu and Kashmir – India. International Journal of current and applies science. ISSN: 2319-7706, 7:4.
28. Allen y col. 1998 Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Dranaige paper N° 56. 300 p.
29. Azizi-Zohan,a. Kamgar-Haghighi, A.A. Sepaskhah, A.R. 2008. Crop and pan coefficients for saffron in a semi-arid region of Iran. Journal of Arid Environments 72: 270–278
30. Gomez, R; Varón, R; García, M; Vázquez, A y Alonso, G. 1987. Estudio del azafrán en la provincia de Albacete. ANALES DE BIOLOGÍA, 13 (Biología Vegetal, 3). 63-70.
31. Sepúlveda, I. 2019. Efecto de la radiación sobre el crecimiento y desarrollo en plantas de azafrán (*Crocus sativus* L.) en su primer ciclo de adaptación en la Pampa del Tamarugal. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Iquique, Chile.
32. Mashayekhi, S y Hosseinzadeh, M. 2015. Effects of soil conductivity on properties of saffron corms and *in vitro* production of its style explants. Progress in Biological Sciences Vol. 5, Number 2. 273-286
33. ITAP. 2013. El cultivo del azafrán en Castilla - La Mancha. Instituto Técnico Agronómico de Albacete. Boletín 88. Albacete, España.
34. Cirujeda, A.; Coca-Abia, M.M.; Escriu, F.; Palacio-Bielsa, A., Marí, A.I.; Zuriaga, P.; Aibar, J. L. 2016. Estado fitosanitario del azafrán en Aragón (España): insectos, ácaros, nematodos, virus, bacterias y malas hierbas. ITE 112(1): 3-19.

35. Shahrokhi, M.B.; Rahimi, H.; Rashed, M.H. 2006. Saffron pests, diseases and weeds. pp 91-109. In: Saffron (*Crocus sativus*) production and processing., Kafi, N.; Koocheki, A.; Rashed, M.H.; Nassiri, M. (Eds). Science Publishers.
36. Díaz, A.; Okabe, K.; Eckenrode, C.J.; Villani, M.G.; O'Connor, B.M. 2000. Biology, ecology, and management of the bulb mites of the genus *Rhizoglyphus* (Acari: Acaridae). *Experimental and Applied Acarology*, 24:85–113.
37. Reddy, P.P. 2016. Pest and predatory mites. pp. 227-244. In: Sustainable Crop Protection under Protected Cultivation, Bangalore: Springer Science - Business Media Signapore.
38. Ahrazem, O.; Rubio-Moraga, A.; Castillo-López, R.; Trapero.Mozos, A.; Gómez-Gómez, L. 2010. *Crocus sativus* pathogens and defense responses. *Functional Plant Science and Biotechnology*, 4(2): 81-90
39. Alonso, G., García, M. 2014. Características del azafrán con DOP “AZAFRÁN DE LA MANCHA”. <https://docplayer.es/7373490-Characterísticas-del-azafran-con-dop-azafran-de-la-mancha-gonzalo-l-alonso-diaz-marta-madel-valle-garcia-rodriguez.html>
40. Bureau, G.; Multon, J. 1995. Embalaje de los Alimentos de Gran Consumo. Editorial Acribia Zaragoza España.
41. Povea, I., 2015. La función del envase en la conservación de alimentos. ECOE Ediciones Colombia.
42. Catalá R.; Gavara R., 2001. Nuevos envases de la protección pasiva a la defensa activan de los alimentos envasados. *Arbor* CLXVIII, 661 (enero 2001), 109-127 pp.
43. Instituto de Salud Pública de Chile. 2019. Reglamento Sanitario de los Alimentos (RSA)
44. Wang y col. (2010) Antidepressant properties of bioactive fractions from the extract of *Crocus sativus* L. *J Natural Medicines* 64 (1): 24-30.
45. Hausenblas y col. 2013. Saffron (*Crocus sativus* L.) and major depressive disorder: a metaanalysis of randomized clinical trials. *J Integr Med* 11(6): 377–383.
46. Samarghandian y Borji. 2014. Anticarcinogenic effect of saffron (*Crocus sativus* L.) and its ingredients. *Pharmacognosy Res* 6(2): 99-107.

47. Berdonces. 2009. Gran diccionario ilustrado de las Plantas Medicinales descripción y aplicaciones. Oceano Ambar.
48. Yadollahi A, Shojaei ZA, Farahnaky A. 2007. Study of colouring, aromatic strength and bitterness of Saffron (*Crocus sativus* L.) cultivated in the UK. Acta Horti (ISHS) 2007; 739:455–61.
49. Abdullaev FI, Espinosa-Aguirre JJ. 2004. Biomedical properties of saffron and its potential use in cancer therapy and chemoPrevention trials. Cancer Detect PRev. 28:426–32
50. Bhandari. 2015. *Crocus sativus* L. (saffron) for cancer chemoprevention: A mini review. J Tradit Complement Med 5(2): 81–87.
51. Gainer J y Jones J. 1975. The use of crocetin in experimental atherosclerosis. Experientia. 31:548–9.
52. Schmidt M, Betti G, Hensel A. 2007. Saffron in phytotherapy: Pharmacology and clinical uses. Wien Med Wochenschr. 157:315–9.
53. Modaghegh MH, Shahabian M, Esmaeili HA, Rajbai O, Hosseinzadeh H. 2008. Safety evaluation of saffron (*Crocus sativus*) tablets in healthy volunteers. Phytomedicine. 15:1032–7.
54. <https://cominoycanela.com/recetas/mermelada-de-mandarina-y-azafran>.
55. Lyle J. Buss (UF|IFAS, University of Florida).
56. Salvador Vitanza (Texas A&M University, AgriLife Extension).
57. EcuRed:Enciclopedia cubana
58. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)
59. Associazione Zafferano Italiano.
60. College of Food, Agricultural and Natural Resource Sciences (University of Minnesota).

Investigadores participantes



**Jose Delatorre
Herrera**



**Jose Delatorre
Castillo**



**Cristopher
Low Pfeng**



**Isabel
Sepulveda
Soto**



**Maria Isabel
Oliva Ekelund**



**Victor Tello
Mercado**



**Jorge Arenas
Charlín**

Supervisión FIA



**Ignacio Delfino
Yurin**



**Fernando
Arancibia
Martínez**

Asesor



**Cristian
Holzmann
Illanes**

Colaboradores



**Luis Guajardo
Guajardo**



**Carlos Quispe
Ticuna**



**José Correa
Soto**



**Cristina
Martínez
Zambra**



**Marcelo Rojas
Arias**

Agricultores participantes



**Haroldo Arce
Coñajagua
(Bajo Soga)**



**Lucy Miñez
Ancco
(Bajo Soga)**





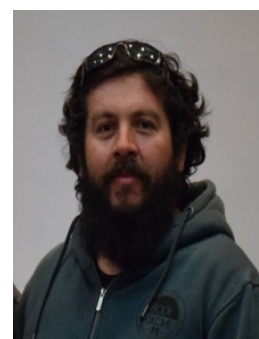
**Liceo Padre Alberto Hurtado Cruchaga
de Pica**



**Nibaldo
Ceballos
Carrero
(La Huayca)**



**Vania
Ugrinovic
Guagama
(Pica)**



**Luis Astorga
Guerrero
(La Tirana)**



GOBIERNO REGIONAL
TARAPACÁ



CORE
TARAPACÁ

UNAP
UNIVERSIDAD ARTURO PRAT
DEL ESTADO DE CHILE



Chile
en marcha



Fundación para la
Innovación Agraria