

Nueva herramienta para aireación y almacenamiento de granos

Manejo inteligente de granos desde su teléfono

Ricardo Bartosik, Especialista en Poscosecha de Granos, INTA Balcarce (CONICET), Argentina
Dirk Maier, Profesor y Especialista en Poscosecha de Granos, Universidad de Iowa, EEUU
Diego de la Torre, Especialista en Poscosecha de Granos, INTA Balcarce, Argentina

Las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire determinan la tasa de secado y la condición final de humedad a la que los granos se equilibrarán en el campo previo a la cosecha. Supongamos dos condiciones contrastantes, cosecha de trigo a fin de primavera/principios de verano y cosecha de maíz a fin de otoño/principios de invierno (particularmente en el Sudeste Bonaerense). Las condiciones climáticas de la cosecha de trigo en gran parte del país se realizan con temperaturas promedios entre 20 y 25°C y humedad relativa ambiente entre 60 y 70%. Bajo esta condición el trigo se equilibra a una humedad entre 13 y 14%. Por otra parte, la cosecha de maíz se realiza con temperaturas promedios entre 10 y 15°C y humedad relativa entre 75 y 85%. Bajo esta condición ambiental el maíz tiende a equilibrarse a una humedad entre 16 y 18.5%.

En el pasado, estas relaciones de equilibrio de humedad aire-grano tenían que obtenerse de gráficos, tablas, manuales o publicaciones de extensión. Más recientemente se podían encontrar en internet si se conocían los términos adecuados para buscarlas. Sin embargo, ninguna de las opciones anteriores es tan conveniente como tener estas relaciones de equilibrio a disposición en una App en su teléfono móvil. Ahora, esta App que agrega inteligencia al manejo de granos en la poscosecha, finalmente está disponible!

Descripción de la App de Aireación y Almacenamiento de Granos

Esta App se llama "Aireación y Almacenamiento de Granos" y está disponible para plataforma Android en Google Playstore (Fig 1).

Link de descarga

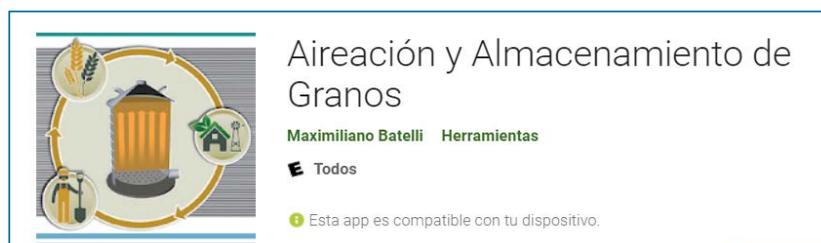


Figura 1. Identificación visual de la App de Aireación y Almacenamiento de Granos en Google Playstore.

En esencia esta App es una herramienta de ingeniería de poscosecha. Fue desarrollada de manera conjunta por los co-autores del presente artículo, representando al Grupo de Poscosecha de Granos de INTA Balcarce, Argentina, y al Grupo de Post-Harvest Engineering and Feed Technology del departamento de Biosystems Engineering y Iowa Grain Quality Initiative de la Universidad del Estado de Iowa (Iowa State University) de EEUU.

La configuración básica de la App (Figura 2) le permite al usuario elegir entre 4 idiomas diferentes (Español, Inglés, Francés y Portugués), sistemas de unidades métrico o imperial, y nos da la opción de utilizar la función de GPS del teléfono para acceder a la información climática de la localidad más cercana a la ubicación del teléfono. Si se desactiva la función del GPS el usuario tiene la flexibilidad de solicitar información climática de prácticamente cualquier localidad del mundo (siempre que esté disponible en las bases climáticas consultadas).

La App permite seleccionar entre 5 bases de datos climáticos diferentes para darle al usuario mayor flexibilidad en caso que prefiera alguna base de datos en particular, y para tener alternativas en caso que una determinada base climática no tenga información disponible para una determinada región o localidad.

El usuario puede seleccionar 26 productos diferentes, incluyendo cereales tales como maíz (diferentes tipos), trigo, arroz, cebada, avena y sorgo, oleaginosas como soja, girasol (diferentes contenidos de aceite), colza, maní y cártamo, leguminosas como poroto y garbanzo, y subproductos tales como expeller de soja. Para cada uno de estos productos se puede visualizar el modelo de equilibrio utilizado, los parámetros del modelo, como así también la referencia científica de donde se obtuvo.

Al momento la aplicación cuenta con tres herramientas (Figura 3), las cuales se describen en detalle a continuación: 1) Predicción Aireación de Enfriamiento, 2) Pronóstico Climático para Aireación, y 3) Relaciones de Humedad Aire-Grano.



Figura 2. Captura de la pantalla de configuración básica de la App de Aireación y Manejo de Granos.



Figura 3. Herramientas disponibles en la App de Aireación y Almacenamiento de Granos.

Relaciones de Humedad Aire-Grano

Esta herramienta calcula el contenido de humedad de equilibrio (CHE), la humedad relativa de equilibrio (HRE) y la humedad de almacenamiento seguro (HAS) para diferentes tipos de granos y condiciones del aire. Indica si ciertas condiciones del aire (ambiente, calentado, refrigerado / enfriado) son adecuadas para lograr el objetivo propuesto de reducir, mantener o aumentar el contenido de humedad del grano almacenado.

El ejemplo de arriba, donde se demostró el efecto de las condiciones climáticas en la época cosecha de trigo y maíz sobre la humedad de cosecha del producto, fue calculado con esta herramienta. En general, a medida que aumenta la HR ambiente aumenta la humedad del grano. Sin embargo, es interesante notar que la magnitud de dicho efecto cambia según el producto. Por ejemplo, cuando se expone maíz almacenado a 20°C a un aumento de humedad relativa de 60 a 75%, el consecuente aumento de la humedad del grano será de 14% a 15.5% (1.5 puntos porcentuales), mientras que el mismo cambio de condiciones para soja resulta en un incremento de humedad de la semilla de 10.7% a 15.4% (4.7 puntos porcentuales). Este ejemplo pone en relieve el diferente comportamiento que tienen las relaciones de equilibrio de humedad aire-grano para los diferentes tipos de materiales.

En general, el efecto de la humedad relativa ambiente sobre la condición de humedad de equilibrio del grano es más intuitivo y conocido, pero la temperatura también aporta a esta relación. Por ejemplo, si quisiéramos equilibrar maíz a 14.5% de humedad cuando la temperatura ambiente es de 25°C, entonces deberíamos seleccionar condiciones de aire ambiente de 72%, mientras que si la temperatura ambiente fuese de 15°C y se utilizara aire con una humedad relativa de 72% el grano de maíz tendería a equilibrarse a 15.2% (0.7 puntos porcentuales por arriba de lo deseado).

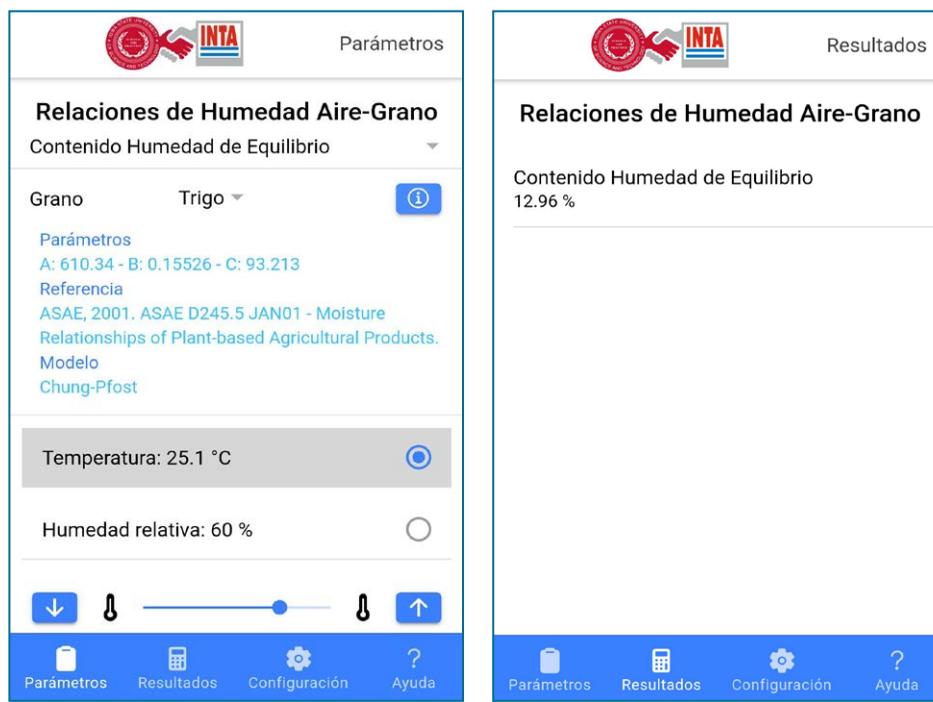


Figura 4. Captura de pantalla de la herramienta Relaciones de Humedad Aire-Grano mostrando la predicción del contenido de humedad de equilibrio en 13% (12.97%) para trigo cuando es expuesto a una condición de aire ambiente de 25°C y 60% de HR (izquierda: pantalla de parámetros, derecha: pantalla de resultados).

En ese caso, para mantener el maíz a 14.5% la humedad relativa seleccionada debería ser de 68%. Este tipo de consideraciones deben hacerse permanentemente a los efectos de lograr equilibrar la mercadería almacenada a un contenido de humedad preciso a través de la selección de las condiciones climáticas apropiadas para la aireación.

Otra característica importante de esta herramienta es el cálculo de la humedad de almacenamiento segura (HAS). HAS se define como el contenido de humedad en el que se debe almacenar el grano para evitar la aparición de hongos o moho. El desencadenante del desarrollo de hongos es la humedad relativa del aire dentro de la masa de grano. Cuando ésta es superior a 67% se crean condiciones adecuadas para el desarrollo microbiológico, siendo este desarrollo más rápido y riesgoso cuánto más alta la humedad relativa y la temperatura (típicamente se manifiesta como calentamiento de la mercadería). Por el contrario, si la HR del aire dentro de la masa de granos es inferior a dicho límite, se previene el desarrollo de los microorganismos (independientemente de la temperatura de almacenamiento). Para soja, la HAS recomendada a 15 °C es de 12,8% mientras que para 25°C es de 12,4%. Para el maíz, los valores recomendados de HAS son 13.8% y 13.0% a 15 °C y 25 ° C, respectivamente. Otro aspecto importante para notar es que el contenido de aceite tiene un efecto sustancial sobre la HAS. Por ejemplo, la HAS de las semillas de girasol con 44% de aceite a 15 °C es de 9,8%, pero para un 53% de contenido de aceite es de 7,8% (dos puntos porcentuales más bajo). Una conclusión importante es que la HAS es menor cuanto mayor es el contenido de aceite y la temperatura del grano almacenado. Por otra parte es importante destacar que existen divergencias entre la humedad de recibo comercial de la mercadería y la humedad de almacenamiento segura (particularmente notable y peligroso para el caso de girasol). Los responsables de manejo de calidad de granos deben estar conscientes de estas diferencias y tomar los recaudos necesarios, en particular cuando se almacenan granos por largos períodos de tiempo y durante la época estival.

Predicción de Aireación de Enfriamiento

Esta herramienta le permite al usuario estimar la condición de temperatura y humedad a la que se terminará equilibrando el grano al ser expuesto a una determinada condición de aire, teniendo en cuenta el enfriamiento evaporativo del grano. El usuario tiene como opción obtener los datos climáticos actuales de la localidad en que se encuentra (la App obtiene la localización a través del GPS del teléfono), puede seleccionar otra localidad que puede ingresar manualmente, o puede directamente ingresar manualmente una condición climática particular (T y HR). Seguidamente el usuario debe seleccionar el tipo de grano y su condición (T y % de humedad), como así también la humedad objetivo a la cual se lo desea llevar (% de humedad objetivo). Finalmente debe ingresar el caudal de aire estimado del silo (por ejemplo, una aireación típica de mantenimiento tiene un caudal de aire cercano a 0.1 m³/min/t, mientras que una aireación reforzada entre 0.2 y 0.3 m³/min/t).

Una vez ingresados todos estos parámetros, el usuario debe dirigirse a la sección "Resultados". Allí podrá encontrar una estimación de las horas de funcionamiento de ventilador necesarias para lograr enfriar toda la masa de granos, como así también la temperatura y humedad a la cual se tendería a equilibrar el grano. Para realizar estas predicciones la App tiene en cuenta, además de la diferencia de temperatura entre el aire y el grano, el efecto del enfriamiento evaporativo causado por la transferencia de humedad entre el aire y el grano (cuando el grano pierde humedad se enfría y viceversa). A su vez, en función de la humedad final objetivo declarada, se ofrece una valoración conceptual de la calidad del aire.

Supongamos que un usuario desea saber si es conveniente encender el ventilador de aireación para enfriar maíz. La humedad actual de la mercadería es de 16%, pero desea llevarla a 14.5%, mientras que la temperatura es de 20°C. El usuario solicita a la App que obtenga los datos climáticos actuales (en este caso Balcarce), siendo estos 11.8°C y 70%. A su vez, el silo donde se encuen-

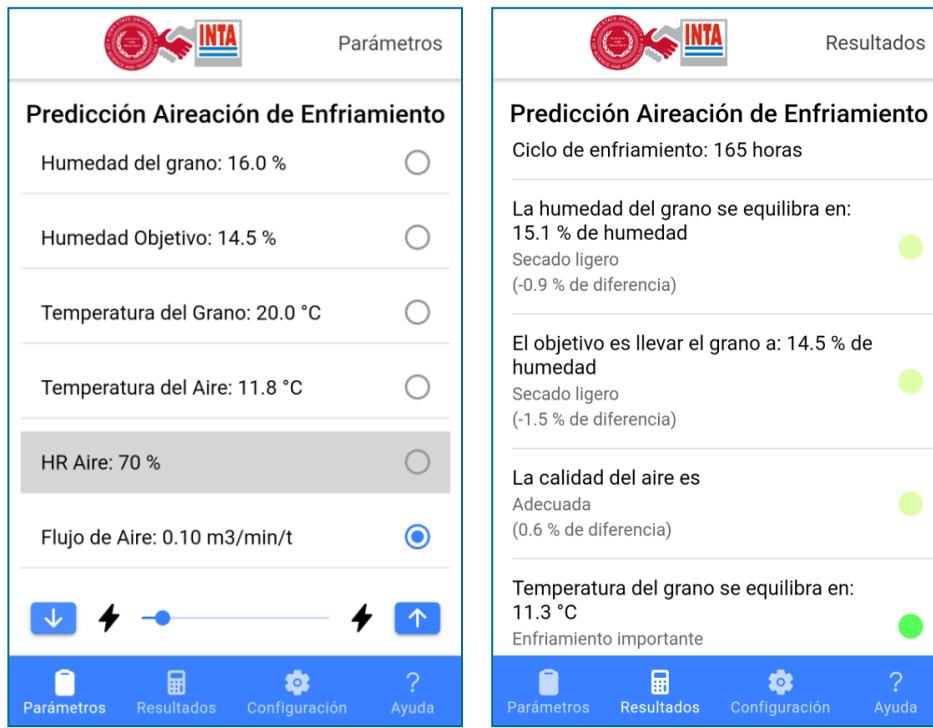


Figura 5. Ejemplo de uso de la herramienta Predicción de Aireación de Enfriamiento aplicado a maíz con una humedad y temperatura iniciales de 16% y 20°C, donde se desea enfriarlo y bajar levemente su humedad (humedad objetivo de 14.5%) utilizando condiciones actuales del aire (en este caso, 11.8°C y 70% de HR para la localidad de Balcarce), con un caudal de aire típico de 0.1 m³/min/t (izquierda). En la pantalla de resultados (derecha) se predice que se va a tardar unas 165 hs de funcionamiento de ventilador y que para dichas condiciones climáticas el maíz se enfriaría a 11.3 °C y la humedad bajaría a 15.1%.

tra almacenada la mercadería tiene un caudal de aire típico de una aireación de mantenimiento, es decir 0.1 m³/min/t (Figura 5).

Para este ejemplo la App predice que el ciclo de aireación requerirá 165 hs de funcionamiento del ventilador y que la humedad del grano se equilibraría en 15.1% valorándolo como un “secado ligero”, dado que disminuiría la humedad del grano solo 0.9 % con respecto a la humedad actual. Con respecto a la humedad objetivo (ingresada por el usuario) la App también valora este objetivo como un “secado ligero” dado que el grano debería ser secado solo 1.5%. En función de los parámetros ingresados para este ejemplo la App valora la “Calidad del aire” como “adecuada” dado que el grano sería secado hasta 15.1%, solo 0.6 % por encima de la humedad objetivo (14.5%). Finalmente en referencia a la temperatura la App estima que el grano se equilibrará a 11.3°C valorándolo como “Enfriamiento importante”.

Supongamos ahora la misma situación, pero con una humedad relativa del aire de 60% en lugar de 70 (ligeramente más seco). En este caso se puede observar que la humedad del grano tendería a equilibrarse en 13.5% (1.6 puntos porcentuales menos que en el caso anterior), y la temperatura bajaría hasta 10.3 °C, produciéndose un enfriamiento extra de 1 °C debido al enfriamiento evaporativo (Figura 6). En función de los ejemplos revisados se puede comprender que el enfriamiento de grano húmedo es relativamente más conveniente cuando se implementa con aire seco, debido al efecto del enfriamiento evaporativo.

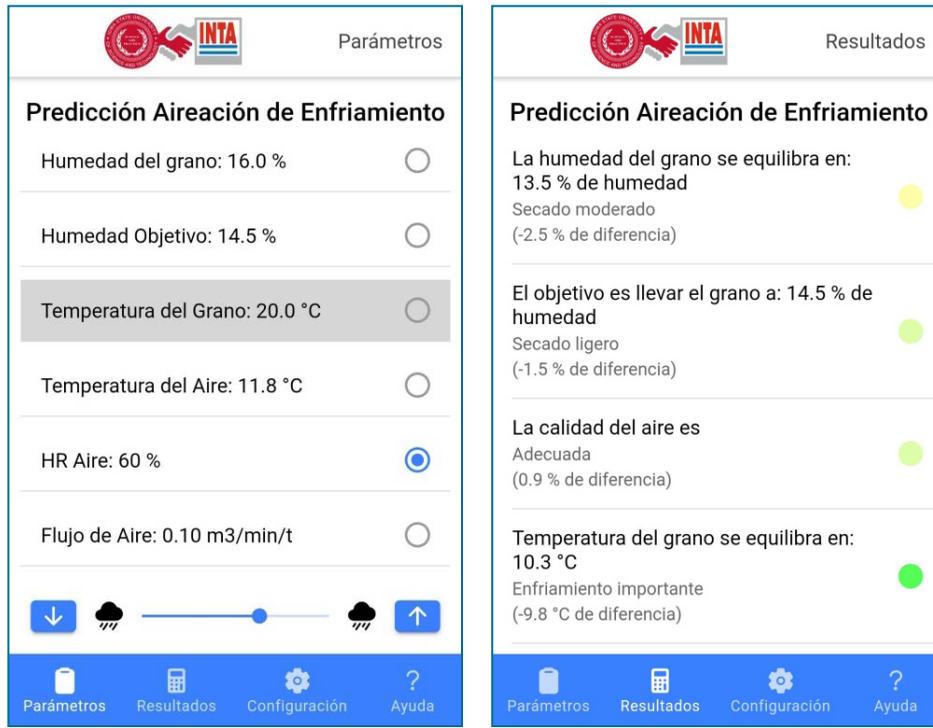


Figura 6. Ejemplo de uso de la herramienta Predicción de Aireación de Enfriamiento aplicado a maíz con una humedad y temperatura iniciales de 16% y 20°C, donde se desea enfriarlo y bajar levemente su humedad (humedad objetivo de 14.5%) utilizando condiciones de aire de 11.8°C y 60% de HR (izquierda), ligeramente más seco que en el ejemplo de la Figura 4, donde se puede apreciar el efecto del enfriamiento extra debido a la mayor evaporación de humedad (derecha).

Para interpretar correctamente los resultados y el uso de la herramienta hay que tener en cuenta que las condiciones climáticas cambian permanentemente, por lo que en la masa de granos se van conformando diferentes frentes de enfriado (y secado). Por otra parte es conveniente recordar que el proceso de enfriado (transferencia de calor) es mucho más rápido que la transferencia de humedad (cerca de 40 veces), por lo que esto nos permitiría utilizar, con cierta moderación, las ventajas del enfriamiento evaporativo sin cambiar sustancialmente la humedad de una masa importante de granos. Sin embargo, en caso de utilizar de manera agresiva el ventilador con condiciones de baja HR podemos incurrir en el sobresecado de las capas inferiores del grano (o superiores de acuerdo a la dirección del flujo de aire).

Con esta herramienta los usuarios pueden tener una mayor certeza sobre las condiciones en las cuales convendría encender la aireación según el objetivo propuesto de secar y enfriar, enfriar y mantener la humedad, o rehumedecer la mercadería.

Pronóstico Climático de Aireación

Esta herramienta le permite al usuario hacer un uso estratégico de la aireación en función del pronóstico climático. Estima la cantidad de horas disponibles para aireación en los próximos 3 a 10 días (dependiendo de la base de datos climática utilizada) y además permite identificar los días y las horas donde sería conveniente encender la aireación. La herramienta también ofrece una recomendación sobre la temperatura límite a la cual se debería programar el termostato del controlador de aireación para sacarle mayor beneficio a la condición climática.

Supongamos un usuario cercano a la localidad de Balcarce, al solicitar los datos climáticos de la localidad, la App le muestra la temperatura y HR promedio histórica y mínima promedio histórica de la localidad para el mes en que se realiza la consulta (ej, Balcarce, mes de octubre: 13°C promedio histórica y 7°C mínima promedio histórica). Recordemos que el usuario, al deshabilitar la función del GPS, puede solicitar realizar el análisis para cualquier otra localidad, y también puede ingresar o corregir manualmente la temperatura y humedad promedios históricos. El usuario también deberá ingresar el % de horas de funcionamiento del ventilador. Este parámetro indica la intensidad de uso del ventilador. Por ejemplo, si el usuario selecciona 30%, el cálculo se hará para buscar una temperatura límite que permita el funcionamiento del ventilador el 30% de las horas más frías del mes. Si el usuario selecciona 50%, el cálculo se hará para buscar una temperatura límite mayor, que permita el funcionamiento del ventilador el 50% de las horas más frías del mes.

Para una aireación de mantenimiento, un porcentaje de horas de funcionamiento de 30% sería adecuado, esto implica que en promedio el ventilador estaría funcionando las 7 hs más frías del día.

En este caso se puede observar que la App indica que la temperatura límite para recomendar el encendido del ventilador para al mes de octubre en la localidad de Balcarce sería de aproximadamente 10°C (basado en datos históricos). El manejo de la aireación implicaría se encienda el ventilador cada vez que la temperatura baje de los 10°C, y que con este límite de temperatura, el ventilador debería funcionar el 30% de las horas más frías del mes.

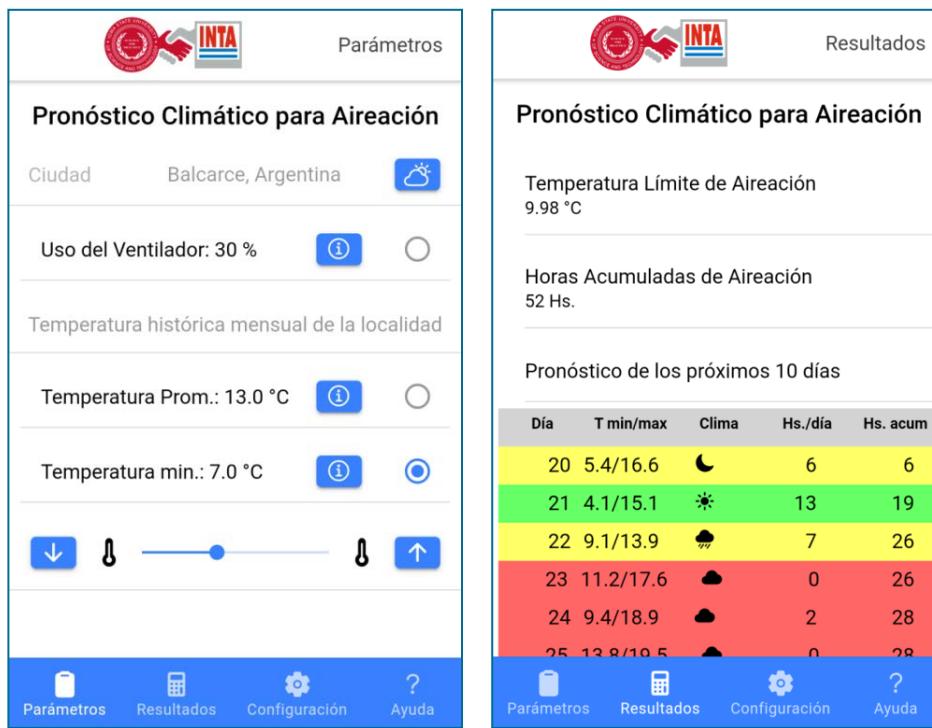


Figura 7. Ejemplo de la herramienta de uso de Pronóstico Climático de Aireación para la localidad de Balcarce donde se indica que el % de uso de ventilador es de 30%, y la temperatura promedio y mínima histórica para el mes de Octubre es de 13 y 7°C respectivamente (izquierda) y la pantalla de resultados donde se muestra que la temperatura recomendada como límite es de 10°C, y que en los próximos diez días hay 52 horas disponibles por debajo de dicha temperatura, con el detalle de la disponibilidad de horas para cada día.

A continuación la herramienta indica que en los próximos 10 días habría aproximadamente unas 52 hs con esta condición, y luego se ofrece una tabla que detalla, día por día, la temperatura mínima y máxima, la condición climática (despejado, nublado o lluvioso), y la cantidad de horas disponibles por debajo de la temperatura límite, mostrándose en un semáforo de colores si la disponibilidad de horas es alta, media o baja. La App permite seleccionar diferentes bases climáticas, por lo que la cantidad de días incluidos en el análisis varían en función de lo que ofrece cada base climática. Además, el usuario puede ingresar en un día en particular para ver en qué momento del día se encuentran las condiciones adecuadas para encender el ventilador (Figura 8).



Figura 8. Captura de pantalla de la herramienta de Pronóstico Climático de Aireación donde se muestra la recomendación de encendido o apagado del ventilador en función de la temperatura límite prescrita (10°C) para cada hora. En el ejemplo, se recomienda mantener encendida la aireación hasta las 11 hs, apagarla y mantenerla apagada hasta las 23 hs, donde se debería volver a encender.

Esta aplicación le permite al usuario optimizar el proceso de enfriamiento del grano de forma similar a un sistema de control automatizado. Específicamente, mientras que en 10 días hay un total de 244 hs, la App le permitió al usuario seleccionar 52 de ellas (aproximadamente el 20%), las más convenientes para optimizar el proceso. Este manejo optimizado evita utilizar el ventilador en condiciones inconvenientes, evitando “soplar” un frente cálido en la masa de granos. De hecho, permite ahorrar costos de electricidad al evitar horas adicionales de funcionamiento del ventilador para mover tal frente de calentamiento.

Esta aplicación le permite al usuario optimizar el proceso de enfriamiento del grano de forma similar a un sistema de control automatizado, ayudándolo a identificar las mejores condiciones climáticas para la aireación de acuerdo a los objetivos: enfriar o bajar algunos puntos de humedad.

Supongamos que un usuario quisiera planificar la aireación del grano de trigo a través del año. Considerando una cosecha en enero podría comenzar seleccionando un % de horas de funcionamiento del ventilador de 50% para lograr un rápido pasaje del primer frente de enfriado, el cual enfriará el grano a una temperatura aproximada a la promedio ambiente de la localidad para el mes de enero. Como el ventilador estaría funcionando 12 hs por día aproximadamente, en menos de 2 semanas se lograría enfriar la masa de granos. A medida que termina el verano y se ingresa en el otoño se podría plantear un segundo ciclo de enfriado. En este caso se podría seleccionar una condición más restrictiva (ej 30% de funcionamiento de uso de ventilador) para lograr enfriar aún más el trigo para un almacenamiento a largo plazo (en este caso el ventilador funcionaría aproximadamente 7 hs por días (las 7 más frías) y se lograría completar el segundo ciclo en menos de 25 días. Si el cereal se fuese a almacenar hasta la primavera siguiente, entonces en los meses más fríos del invierno se podría impulsar un tercer ciclo, reduciendo aún más el % de horas de uso de ventilador, por ejemplo a 15-20%. En este caso las horas promedio de funcionamiento diarias serían de 4-5 y se tardarían unos 35 días en lograrlo. De esta manera, con 3 ciclos de aireación de 165 hs cada uno se lograría un adecuado manejo de la temperatura del trigo, aprovechando las mejores horas de cada período, minimizando el sobre secado de la mercadería y ahorrando consumo de energía el evitar el funcionamiento del ventilador en horas improductivas. Por supuesto que la App solamente ofrece una recomendación sobre cuando encender o apagar el ventilador, y el usuario aún debe ejecutar físicamente la operación o ingresar el valor de temperatura límite sugerida por la App en un termostato que controle el encendido y apagado del ventilador (versión minimalista de un controlador de aireación). Sin embargo, con el avance de Internet de la Cosas (IoT), en un futuro no muy lejano esto se podrá hacer directamente desde el teléfono celular (próximas novedades de INTA!).

Conclusión

La clave para preservar la calidad de la mercadería durante el almacenamiento es comprender las condiciones climáticas locales y su relación con la temperatura y el contenido de humedad del maíz, la soja u otros granos. Específicamente, la temperatura y la humedad relativa ambiente determinan el potencial de enfriamiento del aire ambiente (considerando el enfriamiento evaporativo). A su vez, también determinan si el aire ambiente tendera a aumentar o disminuir el contenido de humedad del grano (contenido de humedad de equilibrio). La App de Almacenamiento y Aireación de Granos recientemente disponible combina estas ecuaciones de ingeniería con el pronóstico del tiempo local y pone esta inteligencia al alcance del usuario para cualquier tipo de grano y ubicación global. Y lo mejor de todo, es gratis!