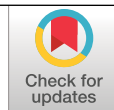


# EFFECTO DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL CAFÉ EN LA ACTIVIDAD DE AGUA

Valentina Osorio Pérez \*, Jenny Pabón Usaquén \*, Claudia Rocío Gómez \*

Osorio, V., Pabón, J., & Gómez, C. R. (2024). Efecto del porcentaje de humedad del café en la actividad de agua. *Revista Cenicafé*, 75(1), e75104. <https://doi.org/10.38141/10778/75104>



En la comercialización de café el porcentaje de humedad es uno de los indicadores de calidad física de mayor importancia, puesto que define la vida útil y el comportamiento de las características físicas y sensoriales del café durante el almacenamiento. La actividad de agua ( $a_w$ ) puede expresarse como la disponibilidad potencial del agua para participar en diferentes reacciones (bioquímicas, microbiológicas, fisicoquímicas), cuanto mayor sea el contenido de agua mayor será la  $a_w$ . Con el propósito de determinar el valor de actividad de agua para el café pergamino seco y café excelso en muestras que cumplen el porcentaje de humedad exigido del 10% al 12%, se obtuvieron muestras de diferentes orígenes colombianos y procesos. Para lo anterior, se tomaron 400 muestras de café: 200 de café pergamino seco de los puntos de compra de Cooperativas de Caficultores y 200 muestras de café verde en almendra calidad excelso en puntos de trilla. En cada caso se determinó el porcentaje de humedad según la norma ISO 6673 y la actividad de agua a temperatura de 25°C. Se comprobó que el café pergamino seco y excelso que tienen porcentajes de humedad dentro de los rangos exigidos, obtienen valores de actividad de agua inferiores a 0,62, lo cual hace que el producto sea poco susceptible a la mayoría de las causas de deterioro.

**Palabras clave:** Café pergamino seco, café excelso, calidad sensorial, humedad relativa de equilibrio (HRE), café, Cenicafé, Colombia.

## EFFECT OF COFFEE MOISTURE CONTENT ON WATER ACTIVITY

In the coffee industry, the percentage moisture content is one of the most important physical indicators of quality, defining the shelf life and the behavior of the physical and sensory properties of coffee during storage. Water activity ( $a_w$ ) can be expressed as the potential availability of water to participate in different reactions (biochemical, microbiological, physicochemical); the higher the water content, the higher the  $a_w$ . To determine the water activity value for dry parchment coffee and excelso coffee in samples that meet the required moisture percentage of 10% to 12%, samples from different Colombian origins and processes were obtained. For this purpose, 400 coffee samples were taken: 200 dry parchment coffee samples from Coffee Growers' Cooperatives purchase points and 200 green coffee bean samples of excelso quality from milling facilities. In each case, the moisture percentage was determined according to ISO 6673 standard and water activity at a temperature of 25°C. Dry parchment coffee and excelso coffee with moisture levels within the required range were found to have water activity values below 0.62, making the product less susceptible to most causes of deterioration.

**Keywords:** Dry parchment coffee, excelso coffee, sensory quality, equilibrium relative humidity (ERH), coffee, Cenicafé, Colombia.

\* Investigador Científico I y Asistentes de Investigación, respectivamente. Disciplina de Calidad, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-1166-0165>, <https://orcid.org/0000-0003-1576-2297> y <https://orcid.org/0000-0002-0685-8337> respectivamente



Los principales factores que influyen en el crecimiento de los microorganismos son el sustrato, la disponibilidad de agua, la temperatura y el pH (García et al., 2011). El contenido de humedad es el factor de control de mayor importancia en los granos, pues define su comportamiento durante el almacenamiento. Así, un alto contenido de agua puede producir el calentamiento de la masa del grano, lo que genera un foco de hongos e insectos que contribuyen a la pérdida de peso y calidad. Por su parte, los granos cereales con contenidos de humedad inferiores al 15%, son poco susceptibles al ataque de microorganismos en cualquier medio (Kumar & Kalita, 2017).

Las propiedades de los alimentos que relacionan la concentración de agua en el alimento con su presión parcial son cruciales para el análisis de los fenómenos de transporte de masa y calor durante la deshidratación. Para expresar el estado en el cual se encuentra el agua en los alimentos se ha utilizado la actividad de agua ( $a_w$ ), pues representa el estado energético de las moléculas de agua en el mismo. Esta propiedad termodinámica de los alimentos está relacionada con la fugacidad del agua, que se define como su disponibilidad potencial para participar en reacciones químicas, bioquímicas y en el desarrollo de hongos (Labuza, 1980). La actividad de agua ( $a_w$ ) es un factor importante en la estabilidad y calidad de los alimentos, puesto que altos valores pueden provocar el deterioro mediante el crecimiento microbiano y producción de toxinas, como la ocratoxina A (OTA). En otras palabras, la  $a_w$  es la disponibilidad de agua que se tiene en el sustrato para que sea empleada en los procesos biológicos (bioquímica) de los seres vivos allí presentes (Ecuación <1>).

$$a_w = \frac{p}{p^*} <1>$$

Donde:

$p$ : presión parcial de vapor de agua en equilibrio con la solución

$p^*$ : presión parcial de vapor de agua pura a la misma temperatura

La actividad de agua varía entre 0,0 y 1,0. Dependiendo del tipo de alimento, diferentes contenidos de humedad pueden presentar valores de actividad de agua cercanos a 1. Estos valores corresponden a alimentos con altos contenidos de agua como verduras, frutas y bebidas, mientras valores más bajos ( $a_w < 0,5$ ), corresponden a la mayoría de los alimentos deshidratados como pastas y cereales (Labuza, 1975). Alimentos con valores de actividad de agua inferiores a 0,7, son poco susceptibles a la mayoría de las causas de deterioro físico, químico y microbiológico; y por debajo de 0,6, son muy estables al deterioro por microorganismos (Puerta, 2006; Labuza, 1975). El concepto de Humedad Relativa de Equilibrio (HRE %) o actividad del agua ( $a_w$ ) puede ser utilizado como un parámetro determinante para el inicio del desarrollo de hongos. Existen varios factores que tienen influencia en el desarrollo de hongos micotoxigénicos en el grano y la producción de micotoxinas, entre estos se tiene el tipo y el estado del grano y la temperatura y la humedad del ambiente en el cual están almacenados (Mannaa et al., 2017).

El límite de actividad de agua para el crecimiento inicial de hongos como *A. ochraceus* es de 0,76, lo que corresponde a un contenido de humedad del 14,2% para los granos de café verde, pero para la producción de OTA los valores mínimos de actividad de agua varían en el rango de 0,83 – 0,87 (Barbosa-Cánovas et al., 2008). Generalmente, se considera que para el inicio del crecimiento de mohos en café verde se requiere un contenido de humedad que exceda el 13% en base húmeda (Puerta, 2006).

La isoterma de sorción de humedad es una representación gráfica de la variación en la actividad del agua ( $a_w$ ) o HRE% con el cambio en el contenido de humedad de una muestra a una temperatura específica (Bohorquez et al., 2016). Las isotermas de sorción de los alimentos generalmente no son lineales y, a menudo, tienen forma sigmoidea. La diferencia entre los valores de actividad de agua ( $a_w$ ) entre las curvas de adsorción y desorción de los granos (para los mismos valores de temperatura y humedad relativa) se denomina histéresis (Al-Muhtaseb et al., 2002). Esta diferencia siempre está a favor del valor de desorción y aunque existen teorías complejas para explicarlo (Fontana Jr. & Carter, 2020) una de las más reconocidas es el daño térmico a las estructuras celulares del grano causado en las operaciones de secado. La histéresis frecuentemente no es detectable a altas temperaturas ( $\sim 80^\circ\text{C}$ ) y generalmente se hace más evidente cuando bajan las temperaturas (Damodaran & Parkin, 2017).

El agua tiene diferentes roles dentro de la composición de los alimentos, puede actuar como solvente, reactivo o puede cambiar la movilidad de los reactantes. Es por esta razón que la actividad de agua influye en la velocidad de las reacciones; para el caso de las asociadas al oscurecimiento no enzimático como la reacción de Maillard (Saltmarch & Labuza, 1982), el contenido de agua se relaciona con el desarrollo de la misma durante el proceso de tueste de café. Cuando se realiza el proceso de secado en café se disminuye la actividad de agua, lo que genera la concentración de los compuestos químicos del grano. Al reducir aún más el agua obteniendo valores de  $a_w$  inferiores a 0,6, se pierde movilidad de estos compuestos y se inhibe la formación de melanoidinas, por ello, en alimentos muy concentrados con azúcares, es más factible la caramelización que la reacción de Maillard (Badui Dergal, 2016). Durante el proceso de

tueste del café y con el fin que se favorezca el pardeamiento no enzimático (Maillard), se necesita suficiente agua para que los solutos se disuelvan, se difundan y reaccionen, una actividad de agua inferior a 0,6 reduce la velocidad de la misma.

El contenido de humedad de equilibrio de un producto depende de muchos factores como la humedad relativa, la temperatura del ambiente, el tipo de producto y las condiciones de almacenamiento (Trejos et al., 1989). Aunque, actualmente los límites de la actividad de agua para asegurar la inocuidad de los alimentos son conocidos, poco se sabe del comportamiento de este parámetro cuando el café cumple con el contenido de humedad exigido (10% al 12%). Por lo tanto, no es claro el efecto de los anteriores factores descritos y su posibilidad de generar valores que superen los límites que aseguran la inocuidad del café. Hasta el momento, el principal criterio para la comercialización y descripción del comportamiento de la vida útil del café durante el almacenamiento es el porcentaje de humedad y existe la discusión acerca de los valores de actividad de agua en café pergamino seco y excelso, y si estos podrían convertirse en un criterio complementario para aceptar compras de café que cumplan con el contenido de humedad. Por tal motivo, se determinó el rango de los valores de la actividad de agua para café pergamino seco y excelso que cumplieran con el porcentaje de humedad requerido.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la investigación se obtuvieron 400 muestras de café (unidad de muestreo), de las cuales 200 correspondieron a café pergamino seco (cps) y 200 a café excelso. Las muestras de cps fueron obtenidas en los puntos de compra al caficultor de las Cooperativas de Caficultores de Caldas-Colombia, en los municipios de Chinchiná

y Manizales. Las 200 muestras de café excelso fueron obtenidas de diferentes lotes en los puntos de trilla de dichas Cooperativas y Almacafé.

### **Análisis físico y sensorial**

El análisis físico incluyó la realización y valoración del examen visual y olfativo de las muestras, proporción de defectos y almendra sana para el café pergamino seco y densidad para el café excelso, según la norma técnica NTC2324 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2021). En el análisis de la calidad física del café pergamino seco se midió el contenido de humedad, el porcentaje de merma, pasilla, granos negros y vinagres, granos brocados y porcentaje de almendra sana. La densidad para café excelso se determinó según la norma ISO 6669 (International Organization for Standardization, 1995). Para el análisis sensorial, se utilizó el protocolo SCA (Specialty Coffee Association), con cinco catadores certificados Q Grader por el CQI (Coffee Quality Institute), que pertenecen al panel sensorial del Centro Nacional de Investigaciones del Café (Cenicafé); con esta metodología se registraron diez atributos del sabor del café: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, taza limpia, dulzor, puntaje catador, defectos y calidad sensorial, expresada como puntaje total SCA. A través de la metodología de consenso entre los cinco catadores se obtuvo un solo resultado por cada muestra analizada.

### **Actividad de agua y contenido de humedad**

La actividad de agua se determinó con el equipo Lab Master Neo (Novasina, Alemania), con control de temperatura. Para el uso de este equipo fue necesario realizar una validación de los diferentes procedimientos de mediciones con muestras procedentes del mismo lote, con el mismo operador, en el mismo lugar

y en intervalos cortos de tiempo, eligiendo el procedimiento óptimo para obtener los resultados de la investigación. Se eligió el método manual donde el equilibrio del valor no es limitado por el tiempo de medición y la estabilidad de la lectura se lograba cuando la variación no superaba  $\pm 0,003$  durante dos minutos con control de temperatura de medición (25°C).

El contenido de humedad se verificó por el método directo estándar, según la norma ISO 6673 a 105°C (International Organization for Standardization, 2003). Para cada muestra se tomó el promedio de tres mediciones, tanto de actividad de agua como para su respectivo contenido de humedad.

### **Composición química**

La determinación de la composición química se realizó mediante la técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS), se estimaron los contenidos de cafeína, trigonelina, ácidos clorogénicos totales, lípidos totales y sacarosa presentes en el café verde de las muestras. El análisis de las muestras se realizó en el equipo NIRS XDS RCA (2012) de FOSS, ubicado en el laboratorio de instrumental de Cenicafé. Las muestras fueron leídas en un rango de longitud de onda del 400 nm – 2490 nm. Se pesaron 110 g de café en grano entero y se colocaron en dos celdas para reflectancia de transporte rectangular. Con la información espectral de las muestras, se procedió a realizar la determinación química de los compuestos mencionados a través de los modelos de calibración previamente desarrollados; para conocer la exactitud de los modelos, se determinó el error relativo de predicción el cual permite conocer la diferencia entre el valor real (obtenido por el método de referencia) y el valor obtenido por la técnica NIRS el error relativo (%) de predicción de cafeína fue de 0,015, trigonelina 0,027, ácidos clorogénicos

totales 0,007, lípidos totales 0,003 y sacarosa 0,007 (Gómez et al., 2023).

### Análisis de información

Se determinó el promedio de la actividad de agua, con su respectivo intervalo, con un coeficiente de confianza del 95% para las muestras de cps y de café excelso que cumplieran con un contenido de humedad entre el 10% y 12%. Se aplicó una prueba t de muestras emparejadas al 5%, para determinar si la humedad del café pergamino era diferente a la humedad de café almendra.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Calidad física y sensorial

Los resultados de la calidad física de las muestras de cps, obtenidas directamente del procesamiento del productor en el punto de compra, se presentan en la Tabla 1. El valor promedio de la merma, que representa la cantidad de endocarpio (pergamino), fue de 18,8% y estuvo en el rango establecido comercialmente (<20%). Con respecto a los contenidos de granos negros y vinagres, que son defectos físicos que se clasifican en el primer grupo por su efecto directo y negativo en la calidad física y sensorial, presentaron un valor promedio de 1,2% y se encontraron

valores máximos de 6,8%. El comportamiento fue similar para los granos brocados, que presentaron valores máximos de 21,4%. Estas variables pueden presentar estos valores máximos, puesto que provienen de muestras obtenidas directamente en el punto de compra y corresponden a prácticas individuales a nivel de finca, en diferentes etapas de la época de cosecha y donde es posible que no se realicen las clasificaciones recomendadas durante el proceso de beneficio, afectando la calidad final del café (Osorio, 2021; Montilla et al., 2008).

La proporción de almendra sana que se define como la cantidad de granos sanos, sin tener en cuenta el porcentaje de merma, obtuvo en las muestras evaluadas un promedio general de 73,8%, cercano al valor promedio nacional que se estima en 74,0%. Valores superiores indican una mejor calidad física y en esta investigación se encontraron valores máximos de 81,3%.

Para las muestras de café excelso se determinaron los valores de densidad aparente con un promedio de 702,9 g L<sup>-1</sup>; Montilla et al. (2008) reportaron para café almendra clasificado y sin clasificar valores de densidad aparente de 709,99 g L<sup>-1</sup> y 707,31 g L<sup>-1</sup>, respectivamente. En la Tabla 1, se relacionan además de los valores de densidad, las variables asociadas a la calidad física del café analizado.

**Tabla 1.** Calidad física del café pergamino seco y densidad del café almendra.

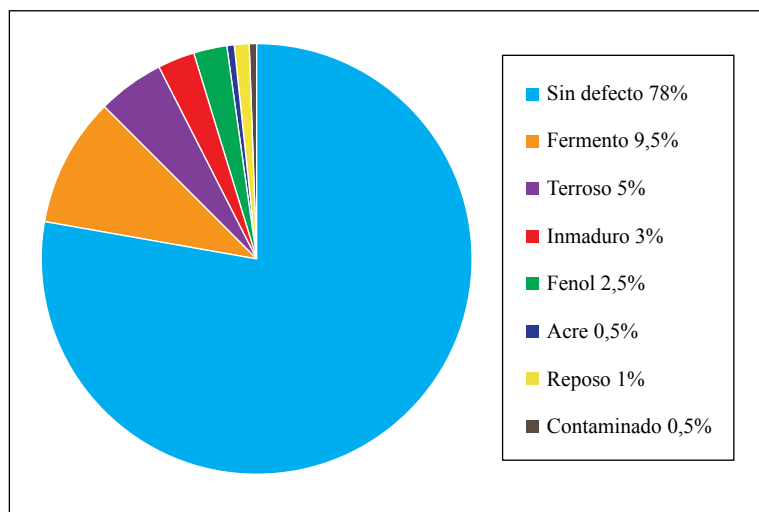
Variables de calidad física	Valores observados			
	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Merma (%)	18,8	1,7	16,3	30,1
Negros y vinagres (%)	1,2	1,3	0,0	6,8
Granos brocados (%)	3,1	3,0	0,0	21,4
Pasilla (%)	3,9	2,6	0,3	14,7
Almendra sana (%)	73,8	6,2	42,7	81,3
Densidad café almendra (g L <sup>-1</sup> )	702,90	14,34	675,62	738,98

En cuanto a la calidad sensorial el 78% de las muestras no presentaron defectos sensoriales, el defecto que se presentó en mayor proporción fue el fermento (9,0%) y en menor proporción fueron el acre, reposo y contaminado, cada uno con el 1,0% (Figura 1). El fermento está asociado a sabores de pulpa descompuesta con predominancia de acidez tipo “agria” y el terroso a sabores dentro del rango de tierra con disminución de la limpieza del sabor residual y asociado a prácticas como la interrupción del secado (Pabón & Osorio, 2022). El inmaduro pertenece al grupo de los ásperos, presenta sabores residuales astringentes sin pleno desarrollo del sabor y dulzor característico de la bebida de café. Estos tres defectos sensoriales coinciden con los encontrados en diferentes zonas del país, lo que implicaría que son frecuentes a nivel de fincas productoras por prácticas inadecuadas de poscosecha (Osorio et al., 2021).

Para las muestras sin defectos sensoriales, en la Tabla 2 se presentan los resultados promedio de los atributos evaluados empleando

la metodología SCA. El atributo con mayor puntaje promedio fue la fragancia/aroma (7,47) seguido de la acidez y el cuerpo que presentaron igual valor promedio.

En la metodología SCA el puntaje total se configura desde la sumatoria de los valores individuales dados a cada uno de los atributos. La SCA clasifica el café de especialidad en rangos de la siguiente manera: < 80 café no especial, 80,00-84,99 muy bueno, 85,00-89,99 excepcional, entre 90,00 y 100 sobresaliente. El valor promedio de las muestras fue de 81,49 con valor máximo de 84,92, este último se encuentra en el rango de cafés de especialidad muy buenos. La calidad sensorial indicó una distribución similar en los rangos de calidad para el café pergamino seco (cps) y el café excelso, con la mayor proporción de muestras en el intervalo de puntaje total de 80,00 a 81,50. Del total de muestras evaluadas el 3,90% y el 5,06% de café pergamino seco y excelso obtuvieron valores superiores a 83,50 puntos, respectivamente (Tabla 3).



**Figura 1.** Calidad sensorial de las muestras evaluadas.

**Tabla 2.** Valores promedio, mínimo, máximo y desviación estándar de los atributos de calidad sensorial.

Atributo	Promedio	Mínimo	Máximo	Desv. Estándar
Fragancia/aroma	7,47	6,9	8,00	0,18
Sabor	7,34	7,0	7,83	0,17
Sabor residual	7,28	7,0	7,80	0,15
Acidez	7,37	7,0	7,95	0,20
Cuerpo	7,37	7,1	7,75	0,14
Balance	7,32	7,0	7,83	0,17
Puntaje catador	7,32	7,0	7,92	0,19
Puntaje total	81,49	79,3	84,92	1,08

**Tabla 3.** Proporción de muestras por rango del puntaje total obtenido en los análisis sensoriales.

Tipo de café	Rango del puntaje final				
	79,0	80,0-81,5	81,5-82,5	82,5-83,5	>83,5
Café pergamino seco	5,19%	49,35%	27,27%	14,29%	3,90%
Café excelso	5,06%	53,16%	22,78%	13,92%	5,06%

### Porcentaje de humedad y actividad de agua del café pergamino seco

En el café pergamino seco se determinó el contenido de humedad en el grano completo, es decir, con el endocarpio. Posteriormente, este se retiró mediante la trilla, dejando el café almendra, y nuevamente se midió el contenido de humedad con el fin de establecer si existían diferencias en la medición de las muestras de café, siguiendo el mismo procedimiento. El

promedio de la diferencia de humedad fue de 0,21% con un intervalo entre 0,14% y 0,27%. Dicha diferencia, es estadísticamente mayor de cero ( $p < 0,0001$ ) según prueba t de muestras emparejadas al 5%, indicando mayor humedad cuando se mide en el café almendra con respecto al café pergamino seco. Menores contenidos promedio del porcentaje de humedad en el cps pueden estar asociados a la composición de la cascarilla del café pergamino con mayores contenidos de celulosa.

De las muestras analizadas, en café pergamino seco, el 60,0% estuvieron en el rango óptimo de humedad (10%-12%) y el 40,0% están por fuera de este intervalo (Tabla 4). Lo anterior podría indicar que se hace necesario un mayor conocimiento del parámetro a nivel de finca, para asegurar que el café se encuentra en el rango de contenido de agua necesario, evitando la configuración de posibles defectos físicos como el grano flojo para el café húmedo o cristalizado para el café sobresecado, a medida que se asegura la vida útil del mismo.

Las muestras de café pergamino seco evaluadas presentaron un valor promedio de contenido de humedad de 11,05%, que a su vez correspondió a un valor promedio de actividad de agua de 0,6184 (Tabla 4), que corresponde a valores inferiores a aquellos donde ocurre para la producción de OTA. El intervalo de  $a_w$  para la producción de OTA es más estrecho que el necesario para el crecimiento de los hongos responsables de su producción. Según Esteban et al. (2006) los valores para producción de OTA oscilan entre 0,90 y 0,99, dependiendo de la cepa y del medio de cultivo.

Las condiciones de  $a_w$  y temperatura son factores limitantes importantes para el crecimiento de la cepa fúngica toxigénica y la producción de ocratoxina. Estas a su vez pueden variar en función del sustrato. Oliveira et al. (2019) no observaron diferencias entre el crecimiento de *A. carbonarius* y *A. ochraceus* y las mejores condiciones obtenidas, para medios de cultivo de café, fueron una temperatura promedio de 30°C y  $a_w$  alrededor de 0,99. En la Figura 2 se muestran los resultados de los rangos de humedad y de actividad de agua para las diferentes muestras de café. En esta se observa que, aún para contenidos de humedad con límite superior de 12,92% el valor de actividad de agua equivale a 0,6747 que corresponde a valores de seguridad, pues está por debajo de 0,7. Para el caso del pergamino, esta condición se cumple cuando se realizan procedimientos de seguimiento en el proceso de secado, que aseguran un contenido de humedad que se encuentra en el rango del 10% al 12%.

#### Porcentaje de humedad y actividad de agua del café excelso

Las muestras de café excelso no presentaron porcentajes de humedad inferiores al 10% y

**Tabla 4.** Rangos de humedad y valores de actividad de agua para café pergamino seco.

Rango de Humedad (%)	Proporción de muestras (%)	Humedad (%)			Actividad de Agua		
		Promedio	Lím. Inf.	Lím.Sup.	Promedio	Lím. Inf.	Lím. Sup.
< 10%	19,0	9,23	8,80	9,67	0,5380	0,5158	0,5603
10% – 12%	60,0	11,05	10,90	11,20	0,6184	0,6118	0,6251
> 12%	21,0	12,69	12,45	12,92	0,6747	0,6636	0,6859



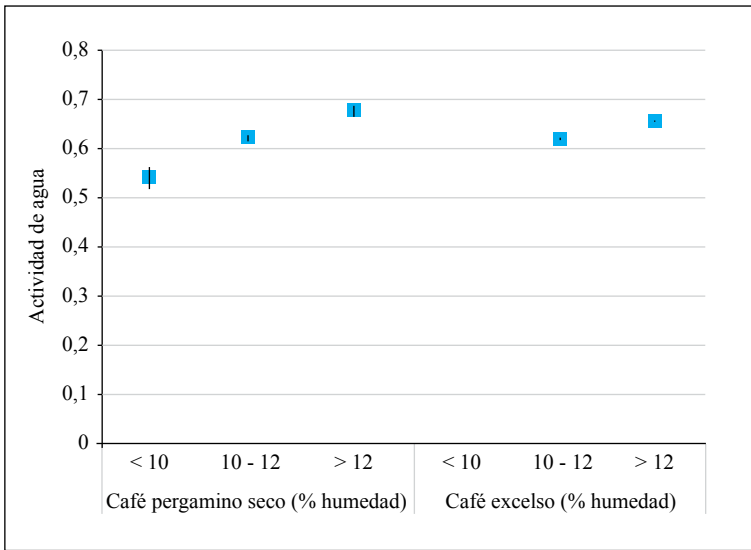
solo el 3,0% presentaron valores superiores al 12%, lo que implica un mayor porcentaje de muestras en el rango óptimo de humedad en comparación con el café pergamino seco. Lo anterior puede explicarse por un mayor control del contenido de humedad del café que se procesa en la trilla industrial. Este contenido puede variar en etapas posteriores como el almacenamiento y el transporte. En un estudio de Palacios-Cabrera et al. (2007), donde controlaron cambios de temperatura, humedad relativa y contenido de humedad de los granos de café almendra verde durante el transporte, evidenciaron una mayor variación en el contenido de humedad en las capas superiores de los sacos de café (2% a 3%), mientras que la actividad del agua aumentó hasta valores de 0,70. Durante el almacenamiento, las zonas cercanas a la pared y al techo son susceptibles a la condensación y es por esta razón que el café situado en la parte superior es más susceptible a la producción de ocratoxina A. Por su lado, Akbar & Magan (2014), aislaron dos nuevas especies de *Aspergillus* (*A. aculeatinus* y *A. sclerotii carbonarius*) en café en Tailandia, y ninguna de las dos especies creció en valores de  $a_w$  de 0,85, independiente de la temperatura.

Por este motivo, es importante que dentro de las estrategias de poscosecha, se generen recomendaciones asociadas a la disminución rápida de la humedad y control del contenido final en el grano y su respectiva conservación en toda la cadena de comercialización.

El 97,0% de las muestras de excelso estuvieron en el rango óptimo de humedad, con un valor promedio de 11,34%, que correspondió a un valor de actividad de agua de 0,6175 en promedio. En la Tabla 5 y en la Figura 2 se muestran los resultados para los rangos de humedad y de actividad de agua para cada una de las matrices evaluadas. Pardo et al. (2005) estudiaron la influencia de la actividad del agua y de la temperatura sobre la germinación y el crecimiento micelial de tres aislados ocratoxigénicos de *A. ochraceus*, observando que las condiciones óptimas para la germinación y el crecimiento fueron de 0,95-0,99  $a_w$  y 20°C-30 °C. La germinación y el crecimiento de *A. ochraceus* en los granos de café verde podrían prevenirse o inhibirse a medida que se reduce al mínimo el tiempo en que los granos de café están expuestos a estas condiciones de temperatura y humedad durante el procesamiento y el almacenamiento.

**Tabla 5.** Rangos de humedad y valores de actividad de agua para café excelso.

Rango de Humedad (%)	Proporción de muestras (%)	Humedad (%)			Actividad de Agua		
		Promedio	Lím. Inf.	Lím.Sup.	Promedio	Lím. Inf.	Lím. Sup.
< 10%	0,0	-	-	-	-	-	-
10% – 12%	97,0	11,34	11,28	11,39	0,6175	0,6147	0,6204
> 12%	3,0	12,10	12,05	12,14	0,6546	0,6532	0,6560



**Figura 2.** Valores de la actividad de agua según el contenido de humedad del café pergamino seco y café excelso.

### Modelos de predicción de actividad de agua para café pergamino y café excelso

La precisión en la medición de la actividad de agua depende de varios factores: la técnica de medición, calibración de la técnica, estabilidad de la temperatura durante la medición, el proceso, el equilibrio de vapor y la muestra (Barbosa-Cánovas et al., 2008). Lo anterior, también es necesario para la determinación del porcentaje de humedad de las muestras, es por esta razón que estos métodos de estimación deben calibrarse con métodos primarios, con el fin de asegurar los requisitos específicos antes de que puedan utilizarse. Una medición incorrecta de humedad podrá generar valores de actividad de agua que no tengan relación con el contenido de humedad, generando una falsa incertidumbre. Es por este motivo que los determinadores de humedad deben estar calibrados, para asegurar la validez de los datos obtenidos (Mendonça et al., 2007). Diferentes investigadores han estudiado el comportamiento higroscópico de varios productos agrícolas, especialmente de granos, describiendo con

modelos matemáticos diferenciados para expresar el contenido de humedad en función de la temperatura y la actividad de agua (García et al., 2011; Sun & Woods, 1993). Goneli et al. (2013) determinaron para frutos de café y café almendra, modelos matemáticos para estimar los valores de actividad de agua a temperaturas de rangos de 10°C a 50°C y se basaron en los modelos matemáticos teóricos (BET, GAB), encontrando ajustes del coeficiente de determinación  $R^2$  superiores al 97%.

En este estudio, no se determinaron las curvas de sorción, sin embargo, se logró ajustar una expresión matemática para describir la relación funcional entre las variables del contenido de humedad de café y la actividad de agua, esta expresión permite determinar para la matriz de café pergamino seco y excelso los valores de actividad de agua, conociendo la humedad del producto expresada en base húmeda. Las expresiones fueron ajustadas de la forma como se presenta en la Ecuación <2>:

$$a_w = \alpha + \beta H \quad <2>$$

Donde,  $a_w$  y  $H$ , son la actividad de agua y humedad en porcentaje, respectivamente; y  $\alpha + \beta$  son el intercepto y coeficiente de regresión.

En la Tabla 6 se ilustra el ajuste de la función para cada matriz con su respectivo coeficiente de determinación. Los coeficientes de regresión, indican que, por cada 1,0% de humedad, la actividad de agua aumenta en 0,03953 para café pergamino seco y 0,04234 para excelso. Menores valores de  $R^2$  en el café excelso pueden estar asociados a que las muestras provienen de la mezcla de diferentes lotes de café pergamino seco, lo que puede aumentar la variabilidad de las mediciones realizadas.

Con el fin de conocer la estructura del grano y la posible distribución del agua dentro del mismo, se analizaron muestras con diferente contenido de humedad y valor de actividad de agua a través del SEM (Microscopía Electrónica de Barrido). Este es uno de los métodos mejor adaptados para el estudio de la morfología de las superficies, pues a diferencia de un microscopio óptico que utiliza fotones del espectro visible, la imagen se genera por la interacción de un haz de electrones que "barre" un área determinada sobre la superficie de la muestra. En la Figura 3 se observa que aun teniendo valores diferentes de  $a_w$  la estructura del grano es similar. Estrada-Bahena et al. (2022), almacenaron granos de café por 60 días con diferentes valores de actividad de agua a 35°C y emplearon la técnica de SEM para evaluar la morfología interna del grano después del tiempo de almacenamiento, concluyeron que cuando se almacena café a bajos valores de  $a_w$  no se aprecian considerables cambios en la morfología; sin embargo, cuando se almacenaban en rangos de  $a_w$  de 0,743 y 0,821, se presentaron cambios de volumen y en la rugosidad superficial en el endospermo,

los cuales según los autores están relacionados con la presencia de contaminación fúngica.

Para el café se ha definido que el porcentaje de humedad del grano que se encuentre en un rango del 10% al 12% cumple con las condiciones para su almacenamiento, trilla, transporte y procesamiento. Este se definió como un nivel de humedad seguro, pues es lo suficientemente bajo como para prevenir el crecimiento de microorganismos indeseables, asegurando la inocuidad del mismo. El nivel máximo de humedad seguro de un alimento se basa en su actividad de agua, para el caso de los cafés pergamino seco y excelso, que cumplen con el rango establecido de contenido de humedad, se encontraron límites superiores de actividad de agua de 0,6184 y 0,6175, respectivamente. Estos valores permiten considerar el café seco un producto que no favorece la proliferación de microorganismos indeseables (Barbosa-Cánovas et al., 2008).

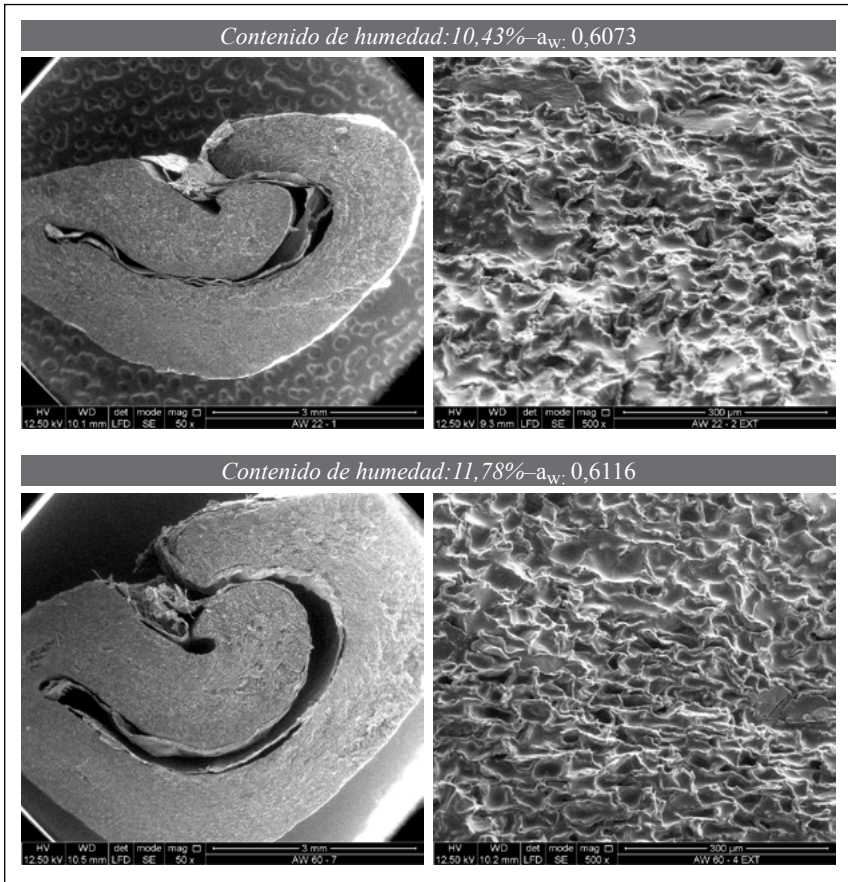
### **Composición química del café**

En la Tabla 7 se presentan los valores promedio y la desviación estándar obtenidos para los siguientes compuestos químicos: ácidos clorogénicos, cafeína, lípidos, sacarosa y trigonelina, de las 400 muestras analizadas. Todos los compuestos químicos estuvieron dentro de los rangos reportados para el café almendra verde, lo que indica que los diferentes valores de actividad de agua y de contenido de humedad del café, en los rangos evaluados, no afectan significativamente la composición de los compuestos químicos, previo a su almacenamiento y transporte.

Gallego & Rodríguez (2021) reportan en el defecto sensorial reposo, que es asociado a largos tiempos de almacenamiento, diferencias significativas en el contenido de lípidos con valores de 11,87% y 11,0% para el café con y sin defecto sensorial, respectivamente.

**Tabla 6.** Modelos para la estimación de actividad de agua en café.

Matriz	Ecuación de estimación	R <sup>2</sup>	Modelo de estimación de actividad de agua
Café pergamino seco	$a_w = 0,17822 + 0,03953H$	0,89	
Café excelso	$a_w = 0,13778 + 0,04234H$	0,70	



**Figura 3.** Imágenes de café tomadas por el SEM con diferentes valores de actividad de agua.

**Tabla 7.** Valores promedio obtenidos para los compuestos químicos de café almendra por la técnica NIRS.

Compuesto	Promedio (%)	Desviación estándar (%)	Rango para café arábica	Fuente
Ácidos clorogénicos totales	5,873	0,134	5,5 – 8,0	Osorio et al., (2023)
Cafeína	1,207	0,057	0,9 – 1,2	Osorio et al., (2023)
Lípidos totales	14,78	0,369	12,0 – 18	Echeverri et al. (2020)
Sacarosa	6,876	0,180	6,25 – 8,45	Osorio et al., (2023)
Trigonelina	0,968	0,057	1,0 – 1,2	Osorio et al., (2023)

Puede concluirse que para el café pergamino seco y el grano excelso bajo las mismas condiciones ambientales, cuanto mayor sea el contenido de agua, mayor será la actividad de agua. El proceso de secado de café que asegura contenidos de humedad comprendidos entre el 10% al 12%, elimina el agua en fase líquida, lo que disminuye su movilidad, permitiendo de esta manera que los valores de actividad de agua sean inferiores, en ambos casos, a 0,62. Por tal motivo, el porcentaje de humedad continúa siendo uno de los indicadores de mayor importancia en la medición de la calidad fisicoquímica del café para el proceso de comercialización. Este define la vida útil de un producto y el comportamiento del mismo durante el almacenamiento bajo condiciones óptimas, y aunque, actualmente se ha generado una tendencia para realizar la medición del indicador de actividad de agua ( $a_w$ ), para este estudio, se encontraron valores de actividad de agua inferiores a 0,62 cuando el porcentaje de humedad se hallaba en el rango adecuado y era medido con equipos confiables.

## AGRADECIMIENTOS

A los compañeros de la Disciplina de Calidad Paola Calderón, Wilson Vargas y Claudia Gallego. A Rubén Medina y Esther C. Montoya de la Disciplina de Biometría. A Julio César Díaz y Antonio Restrepo Gerentes Cooperativas de Caficultores de Caldas y Trillacoop. Henry Martínez de Gerencia Comercial FNC y a Fernando Osorio y Jhon E. Espitia y de la Oficina de Calidades de Almacafé. Esta investigación fue financiada por recursos propios Cenicafé, proyecto número CAL105002.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización, Curación de datos, Redacción-borrador original: V.O.P.; Análisis formal, Metodología, Validación: V.O.P. y J.P.U.; Redacción- revisión y edición: V.O., J.P. y C.R.G.; Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

## LITERATURA CITADA

- Akbar, A., & Magan, N. (2014). The impact of water and temperature interactions on lag phase, growth and potential ochratoxin A production by two new species, *Aspergillus aculeatinus* and *A. sclerotii carbonarius*, on a green coffee-based medium. *International Journal of Food Microbiology*, 188, 116–121. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.07.025>
- Al-Muhtaseb, A. H., McMinn, W. A. M., & Magee, T. R. A. (2002). Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Food Products: A Review. *Food and Bioproducts Processing*, 80(2), 118–128. <https://doi.org/10.1205/09603080252938753>
- Badui Dergal, S. (2016). *Química de los alimentos* (4a ed.). Pearson Educación. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3608>
- Barbosa-Cánovas, G. V., Fontana, A. J., Schmidt, S. J., & Labuza, T. P. (Eds.). (2008). *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*. Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470376454>
- Bohórquez, C., García, O., Sánchez, T., & Pinzón, M. (2016). Isotermas de sorción de almendras de café de cuatro orígenes almacenadas en dos tipos de empaque. *Revista Alimentos Hoy*, 24(39), 85–91.
- Damodaran, S., & Parkin, K. L. (Eds.). (2017). *Fennema's Food Chemistry* (5a ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315372914>
- Echeverri, L. F., Ortiz, A., Gallego, C. P., & Imbachí, L. C. (2020). Caracterización de la fracción lipídica del café verde en variedades mejoradas de *Coffea arabica* L. *Revista Cenicafé*, 71(2), 39–52. <https://doi.org/10.38141/10778/71203>
- Esteban, A., Abarca, M. L., Bragulat, M. R., & Cabañes, F. J. (2006). Effect of water activity on ochratoxin A production

- by *Aspergillus niger* aggregate species. *International Journal of Food Microbiology*, 108(2), 188–195. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.12.002>
- Estrada-Bahena, E. B., Salazar, R., Ramírez, M., Moreno-Godínez, Ma. E., Jiménez-Hernández, J., Romero-Ramírez, Y., González-Cortázar, M., & Alvarez-Fitz, P. (2022). Influence of water activity on physical properties, fungal growth, and ochratoxin A production in dry cherries and green-coffee beans. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(2), e16226. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16226>
- Fontana, A. J., & Carter, B. P. (2020). Measurement of Water Activity, Moisture Sorption Isotherm, and Moisture Content of Foods. En G. V. Barbosa-Cánovas, A. J. Fontana, S. J. Schmidt, & T. P. Labuza (Eds.), *Water Activity in Foods* (pp. 207–226). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118765982.ch8>
- Gallego, C. P., & Rodríguez-Valencia, N. (2021). Identificación de algunas variables fisicoquímicas y microbiológicas asociadas con el defecto reposo en el café. *Revista Cenicafé*, 72(1), e72105. <https://doi.org/10.38141/10778/72105>
- García, D., Ramos, A. J., Sanchis, V., & Marín, S. (2011). Modelling the effect of temperature and water activity in the growth boundaries of *Aspergillus ochraceus* and *Aspergillus parasiticus*. *Food Microbiology*, 28(3), 406–417. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.10.004>
- Gómez, C. R., Gallego, C. P., Echeverri, L. F., Pabón, J., Ortiz, A., & Osorio, V. (2023). Determinación de compuestos químicos del café tostado por Espectroscopia de Infrarrojo Cercano (NIRS). *Revista Cenicafé*, 74(1), e74104. <https://doi.org/10.38141/10778/74104>
- Goneli, A. L. D., Corrêa, P. C., Oliveira, G. H. H., & Júnior, P. C. A. (2013). Water sorption properties of coffee fruits, pulped and green coffee. *LWT—Food Science and Technology*, 50(2), 386–391. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.006>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2021). NTC 2324:2021 *Café verde. Examen olfativo y visual y determinación de materia extraña y defectos*. <https://tienda.icontec.org/gp-cafe-verde-examen-olfativo-y-visual-y-determinacion-de-materia-extrana-y-defectos-ntc2324-2021.html>
- International Organization for Standardization. (1995). ISO 6669:1995. *Green and roasted coffee—Determination of free-flow bulk density of whole beans (Routine method)*. <https://www.iso.org/standard/13098.html>
- International Organization for Standardization. (2003). ISO 6673:2003—*Green coffee—Determination of loss in mass at 105 degrees C*. <https://www.iso.org/standard/38375.html>
- Kumar, D., & Kalita, P. (2017). Reducing Postharvest Losses during Storage of Grain Crops to Strengthen Food Security in Developing Countries. *Foods*, 6(1), 8. <https://doi.org/10.3390/foods6010008>
- Labuza, T. P. (1980). Effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. *Food Technology*, 34, 36–41.
- Labuza, T. P. (1975). Interpretation of Sorption Data in Relation to the State of Constituent Water. En R. B. Duckworth (Ed.), *Water Relations of Foods* (pp. 155–172). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-223150-6.50014-6>
- Mannaa, M., & Kim, K. D. (2017). Influence of Temperature and Water Activity on Deleterious Fungi and Mycotoxin Production during Grain Storage. *Mycobiology*, 45(4), 240–254. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2017.45.4.240>
- Mendonça, J. C. F., Franca, A. S., & Oliveira, L. S. (2007). A comparative evaluation of methodologies for water content determination in green coffee. *LWT—Food Science and Technology*, 40(7), 1300–1303. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.08.013>
- Montilla, J., Arcila-Pulgarín, J., Aristizábal-Loaiza, M., Montoya-Restrepo, E. C., Puerta-Quintero, G. I., Oliveros-Tascón, C. E., & Cadena-Gómez, G. (2008). Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio húmedo tradicional. *Revista Cenicafé*, 59(2), 120–142. [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc059\(02\)120-142.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc059(02)120-142.pdf)
- Oliveira, G., Evangelista, S. R., Passamani, F. R. F., Santiago, W. D., Cardoso, M. D. G., & Batista, L. R. (2019). Influence of temperature and water activity on Ochratoxin A production by *Aspergillus* strain in coffee south of Minas Gerais/Brazil. *LWT*, 102, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.032>
- Osorio, V. (2021). La calidad del Café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (3a ed., pp. 219–234). Cenicafé. [https://doi.org/10.38141/10791/0014\\_12](https://doi.org/10.38141/10791/0014_12)
- Osorio, V., Matallana Pérez, L. G., Fernandez-Alduenda, M. R., Alvarez Barreto, C. I., Gallego Agudelo, C. P., & Montoya Restrepo, E. C. (2023). Chemical Composition and Sensory Quality of Coffee Fruits at Different

- Stages of Maturity. *Agronomy*, 13(2), 341. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020341>
- Pabón, J., & Osorio, V. (2022). Efecto de la interrupción del secado mecánico en la calidad física y sensorial del café. *Revista Cenicafé*, 73(2), e73201. <https://doi.org/10.38141/10778/73201>
- Palacios-Cabrera, H. A., Menezes, H. C., Iamanaka, B. T., Canepa, F., Teixeira, A. A., Carvalhaes, N., Santi, D., Leme, P. T. Z., Yotsuyanagi, K., & Taniwaki, M. H. (2007). Effect of Temperature and Relative Humidity during Transportation on Green Coffee Bean Moisture Content and Ochratoxin A Production. *Journal of Food Protection*, 70(1), 164–171. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-70.1.164>
- Pardo, E., Ramos, A., Sanchis, V., & Marín, S. (2005). Modelling of effects of water activity and temperature on germination and growth of ochratoxigenic isolates of on a green coffee-based medium. *International Journal of Food Microbiology*, 98(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.05.003>
- Puerta, G. I. (2006). La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 352, 1–8. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/418>
- Saltmarch, M., & Labuza, T. P. (1982). Nonenzymatic Browning via the Maillard Reaction in Foods. *Diabetes*, 31(Supplement\_3), 29–36. <https://doi.org/10.2337/diab.31.3.S29>
- Sun, D.-W., & Woods, J. L. (1993). The Moisture Content/Relative Humidity Equilibrium Relationship Of Wheat—A Review. *Drying Technology*, 11(7), 1523–1551. <https://doi.org/10.1080/07373939308916918>
- Trejos, R., Roa, G., & Oliveros, C. E. (1989). Humedad de equilibrio y calor latente de vaporización del café pergamino y del café verde. *Revista Cenicafé*, 40(1), 5–15. <http://hdl.handle.net/10778/841>