

Artículo Original

## **Deshidratación y oxidación térmica híbrida solar-eléctrica de hojas de *Cannabis sativa* L. Prospección de la concentración de CBD, THC y CBN**

*Hybrid solar-electric thermal dehydration and oxidation of Cannabis sativa L. leaves. Prospecting of CBD, THC and CBN concentration*

**\*Alfredo Fabián Sequeira<sup>1</sup>**, **Rubén Ángel Spotorno<sup>2</sup>**, **Juan José Pochettino<sup>3</sup>**, **Mario Raúl Delfino<sup>3</sup>**, **Walter Gustavo Morales<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Resistencia, Centro de Investigación en Química Orgánica Biológica (QUIMOBIO). Resistencia, Argentina.

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Resistencia, Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Apropriadas (GITEA). Resistencia, Argentina

<sup>3</sup>Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, Unidad de Control de Fármacos y Tóxicos (UCFT). Corrientes, Argentina

### **RESUMEN**

En el presente trabajo se presenta el proceso de deshidratación y oxidación térmica híbrido (solar-eléctrico) aplicado a hojas de *Cannabis sativa* L, un residuo usual de la cannabicultura. El estudio elabora la búsqueda de la viabilidad de utilizar las hojas como materia prima, evaluando la concentración de Cannabidiol (CBD), Tetrahidrocannabinol (THC) y Cannabinol (CBN). Los ensayos realizados permitieron determinar que el tratamiento térmico, no solo elimina la humedad, sino que también induce transformaciones químicas deseables, particularmente la degradación oxidativa del THC a CBN, mientras se preserva el CBD. Se determinó que el proceso se divide en dos fases distintas: una etapa de deshidratación de 5 a 6 horas de duración, seguida de una etapa de oxidación térmica. Los resultados cuantitativos son significativos: las hojas frescas con 12 mg/g de CBD, alcanzan concentraciones de hasta 53,05 mg/g de CBD tras 30 horas de tratamiento de deshidratación y oxidación térmica. Esto revela un potencial económico sustancial, estableciendo que el descarte de hojas implica una pérdida de compuestos activos en una relación estimada de 1:4 (gramos de CBD en ápices florales respecto a gramos de CBD en hojas tratadas). La investigación concluye que este método representa una estrategia eficaz para la valorización de residuos, mejorando la sostenibilidad y la rentabilidad de la producción de cannabis.

**Palabras clave:** *Cannabis sativa* L; secado híbrido; cannabinoides bioactivos.

### **ABSTRACT**

This study presents a hybrid thermal dehydration and oxidation process (solar-electric) applied to *Cannabis sativa* L leaves, a common by-product of cannabis cultivation. The research aims to assess the viability of utilizing the leaves as raw material by quantifying the concentration of Cannabidiol (CBD), Tetrahidrocannabinol (THC), and Cannabinol (CBN). Experimental trials revealed that the thermal treatment not only effectively removes moisture but also induces desirable chemical transformations, particularly the oxidative degradation of THC to CBN while successfully preserving the CBD. The process was determined to comprise two distinct stages: an initial dehydration phase lasting 5 to 6 hours, followed by a final thermal oxidation phase. The quantitative results are significant: fresh leaves, initially containing 12 mg/g of CBD, reached final concentrations of up to 53.05 mg/g of CBD after 30 hours of thermal dehydration and oxidation treatment. This outcome suggests a substantial economic potential, as discarding the leaves implies a significant loss of active compounds, estimated at a 1:4 ratio (grams of CBD in floral apices relative to grams of CBD in treated leaves). Ultimately, this method is concluded to be an effective strategy for waste valorisation, thereby enhancing the sustainability and profitability of cannabis production.


**Keywords:** *Cannabis sativa* L; hybrid dehydration; bioactive cannabinoids.

**\*Autor correspondiente:** Sequeira, A. Centro de Investigación en Química Orgánica Biológica (QUIMOBIO), Facultad Regional Resistencia, Universidad Tecnológica Nacional. Argentina.

Correo electrónico: [alfreseq@gmail.com](mailto:alfreseq@gmail.com)

Fecha de envío: 3 de diciembre de 2025. Revisión: 20 de febrero de 2026. Aceptación: 26 de marzo de 2026.

Proceso de revisión: Evaluación por pares a doble ciego.

**Editora responsable:** Graciela María Patricia Velázquez de Saldivar . Universidad del Cono Sur de las Américas, UCSA.



## INTRODUCCIÓN

El cáñamo industrial (*Cannabis sativa L.*) es una especie con una larga historia de cultivo en todo el mundo (Zuardi et al., 2006). La parte de fibra de la planta se utiliza principalmente para textiles y materiales de construcción (Small, 2015). Las semillas de cáñamo son una buena fuente de proteínas y aceite con una proporción de 3:1 de ácidos grasos omega-6 (ácido linoleico) a omega-3 (ácido alfa-linolénico), lo que es preferible para una dieta saludable para los humanos. En los últimos años, la inflorescencia (flor) y las hojas de las plantas de cáñamo están atrayendo un interés creciente debido a su contenido rico en compuestos bioactivos que tienen un alto valor terapéutico y para la salud (García-Tejero et al., 2019). Entre ellos, el cannabidiol (CBD) es uno de los temas más candentes en la comunidad científica y la industria del cáñamo en todo el mundo. La investigación ha demostrado que el CBD dentro del cáñamo podría facilitar el alivio del dolor, reducir la ansiedad y promover la relajación (White, 2019).

En la Cannabicultura tradicional, el secado del *Cannabis sativa L.* se ha desarrollado a lo largo de los años más como un arte que como una tecnología, tal vez debido a los tabúes asociados a esta especie vegetal o al estatus legal que tiene en muchos países. Se sabe que determinadas reacciones oxidativas y de degradación de proteínas son relevantes cuando se busca alcanzar un contenido determinado de CBD en el Cannabis y que estos cambios se producen durante el secado (Chasiotis et al., 2022). La mayor parte de este material de divulgación está enfocado en el secado del cogollo del Cannabis (conformado en su mayoría por tricomas de la planta de cannabis hembra) y los reportes que hacen referencia al secado de las hojas, raíces y tallos de la planta son escasos (Jin et al., 2020). En todo caso es fundamental oxidar la clorofila presente en estas secciones del material vegetal a fin de eliminar compuestos químicos indeseados dado que aportan aromas, colores, sabores, etc. que no son de interés en aplicaciones posteriores (Challa et al., 2021).

Por otro lado, en la producción tradicional de Cannabis las hojas, tallos y raíces constituyen un residuo linocelulósico que generalmente se quema con el objetivo de eliminarlo a fin de evitar la proliferación de microorganismos o plagas que puedan afectar negativamente el proceso productivo.

La bibliografía reporta que las hojas, al igual que los cogollos o ápices, contienen pequeñas cantidades de CBD acompañado de trazas de THC, entre otros compuestos orgánicos relevantes y susceptibles de ser sometidos a procesos oxidativos mediante tratamiento térmico (Nagy et al. 2019).

El secado solar de hojas de Cannabis se considera como una alternativa viable para el aprovechamiento de estas y tiene como objetivo tanto la eliminación de la humedad como la degradación del THC y otros compuestos aumentando la concentración relativa de CBD.

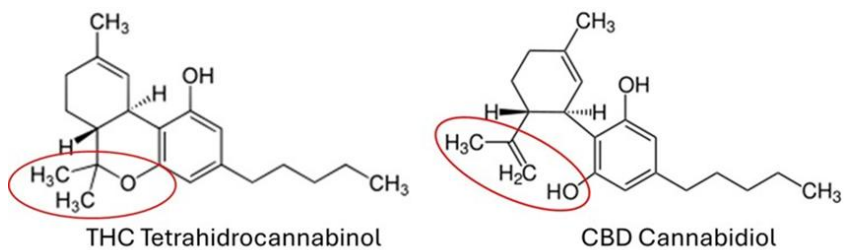
El THC y el CBD son isómeros estructurales, es decir que tienen la misma fórmula molecular ( $C_{21}H_{30}O_2$ ), pero diferente conectividad entre átomos, lo que genera propiedades químicas y biológicas completamente diferentes.

**Tabla 1.** Estructura y Actividad de CBD y THC

Cannabinoides	Anillo clave	Características
CBD	Abierto (lineal con grupo fenólico)	No psicoactivo
THC	Cerrado (ciclohexano con éter)	Psicoactivo

Mientras que el THC tiene efectos psicoactivos el CBD tiene efectos funcionales, es decir que el CBD aporta a la mejora de la calidad de vida de las personas que los consumen.

A continuación, en la Figura 1 se ilustran las estructuras de THC y CBD. Se aprecia la zona de diferencias estructurales de las moléculas, y que a pesar de compartir la misma fórmula molecular ( $C_{21}H_{30}O_2$ ), difieren en la disposición de sus átomos.



**Figura 1.** Diferencia estructural entre el THC y el CBD

Como ya se ha mencionado, la concentración relativa de CBD en las hojas del Cannabis es muy superior a la concentración relativa del THC. Publicaciones científicas reportan que el THC puede ser degradado mediante la oxidación térmica a temperaturas moderadas, en presencia de aire y con procesos lentos (de larga duración) a CBN ( $C_{21}H_{26}O_2$ ), que es un compuesto más estable que se ha reportado como de muy escasa o de nula actividad psicoactiva (Milay et al., 2020).

Se ha documentado que el CBD no se ve afectado por la temperatura y se considera que durante el pardeamiento térmico en las hojas del cannabis ocurrirán principalmente reacciones de Maillard y caramelización, además de ciertas oxidaciones no enzimáticas. Estas transformaciones químicas afectan a fenoles, azúcares, aminoácidos, clorofilas, etc., mejorando la palatabilidad de las hojas (Milay et al., 2020).

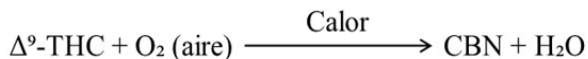
Las consideraciones anteriores dan lugar a prever la prolongación del proceso de secado para favorecer el pardeamiento térmico que da lugar a la degradación térmica y oxidativa de compuestos no deseados presentes en las hojas de Cannabis, mejorando las aptitudes de estas para ser consumidas en alimentos funcionales.

Se ha planteado que la oxidación de THC a CBN es un proceso que puede describirse por un mecanismo de deshidrogenación oxidativa, en el que el anillo parcialmente saturado de THC se convierte en un sistema aromático.

Mecanismo químico propuesto para la oxidación de THC a CBN. Estructuras involucradas:

- THC: posee un anillo de ciclohexeno parcialmente saturado.
- CBN: tiene un anillo aromático completamente conjugado (tipo bencénico).

Respecto del proceso oxidativo del THC que se produce durante el pardeamiento térmico de las hojas de Cannabis, es posible plantear el siguiente mecanismo de reacción:



La provincia del Chaco presenta un clima predominantemente cálido, de tipo subtropical húmedo (Cfa según la clasificación de Köppen-Geiger), y en su extremo noroeste, cálido semiárido (Bsh según la clasificación de Köppen-Geiger). El recurso solar disponible es adecuado, con una radiación solar de 5 a 6 kWh/m<sup>2</sup>/día y una duración de 7 a 10 horas de sol en Resistencia. Las temperaturas son cálidas, con una media anual de 21,5°C en Resistencia, y las lluvias son estacionales durante el verano. La incidencia de heladas es baja y la humedad relativa es moderada a lo largo del año. Estas características hacen que el Chaco sea un lugar propicio para el desarrollo de proyectos de energía solar, incluyendo secadores solares de diferentes tecnologías, que aprovechan energía gratuita, renovable y de baja contaminación ambiental.

Kanabus et al. (2024) emplean un sistema de secado por convección (totalmente eléctrico) y confirman que el THC es altamente sensible a la oxidación térmica. Este proceso se manifiesta mediante la conversión de THCA en THC y su posterior degradación en CBN, siendo las hojas más susceptibles a estos cambios que las inflorescencias debido a su morfología. Asimismo, el estudio demuestra que el secado prolongado a baja temperatura genera un perfil de degradación y oxidación comparable al secado rápido a alta temperatura; esto se debe a que ambos factores (tiempo y temperatura) impulsan de manera análoga la cinética de descarboxilación de los precursores ácidos hacia sus formas neutras.

Aprovechando la gran irradiancia solar en el Nordeste Argentino, en la Facultad Regional Resistencia de la UTN se ha construido y puesto en funcionamiento un sistema de deshidratación híbrida solar-eléctrica que ha sido utilizado exitosamente en el secado de materias primas vegetales y alimentos fisiológicamente saludables (Spotorno et al. 2024). El sistema de secado utiliza energía solar y en casos de baja radiación y días de lluvia, el calentamiento del agua se realiza utilizando una resistencia eléctrica, ubicada en el acumulador del calefón solar, de manera de no interrumpir el proceso de secado. Este equipamiento asegura el control de la temperatura al tiempo que permite la determinación y control de parámetros fundamentales en la deshidratación y la oxidación térmica (pardeamiento) o curado de especies vegetales (Spotorno et al. 2025).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 1- Determinación de CBD, THC y CBN

Se utilizó un HPLC provisto de detector UV, ajustado a los siguientes parámetros:

CONDICIONES:

- HPLC Agilent 1120 LC Compact Series
- Flujo: 1,2 mL/min
- Columna: C18, 250 x 4,6 mm,  $\Phi$  5 $\mu$ m
- Inyección: 20  $\mu$ L
- FM: Isocrático, Acetonitrilo – PBS
- Detección: UV,  $\lambda$  220 nm.

SOLUCIONES:

- Material de Ref.: Restek Cannabinoids Standarts 1000  $\mu$ g/mL in MeOH. CBN, CBD & THC. ID 34014. Lot #A0142403.Made in USA.
- Solución Estándar: MR dil. 1:20 c/ metanol, Conc. 50  $\mu$ g/mL.
- Solución Muestras: Filtrado  $\phi$  = 0,45 $\mu$ m e inyección directa.

### 2- Material vegetal

Se utilizaron hojas de Cannabis aportadas por Bollati Fabricio Martin, número de inscripción INASE: 12887/A, fitomejorador de cannabis medicinal radicado en la zona del Gran Resistencia, variedad utilizada denominada "Genética Rucucú" y el perfil de concentraciones relativas presentes en los cogollos o ápices se detalla en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Concentración en cogollos o ápices de Cannabis "Genética Rucucú"

Nº	Compuesto	Concentración
1	CBD total (mg/g materia vegetal)	210
2	THC total (mg/g materia vegetal)	15
3	CBN total (mg/g materia vegetal)	0,9

Las hojas se utilizaron enteras sin reducción de tamaño y se sometieron al tratamiento térmico en el equipo con el que cuenta la Facultad Regional Resistencia de la UTN.

### 3- Parámetros termodinámicos registrados en los ensayos experimentales

Durante la realización de los ensayos experimentales de deshidratación y oxidación térmica se registraron los siguientes parámetros:

- Temperatura y humedad relativa del aire a la entrada de la cámara de secado ( $t_1$ ,  $\phi_1$ )
- Temperatura y humedad relativa del aire a la salida de la cámara de secado ( $t_2$ ,  $\phi_2$ )
- Temperatura del agua proveniente del calefón solar a la entrada del intercambiador ( $t_H$ )
- Temperatura y humedad relativa ambiente ( $t_a$ ,  $\phi_a$ )

Para realizar el proceso de medición y adquisición de los parámetros mencionados, se utilizó un datalogger diseñado y construido por el GUDA (Grupo Universitario de Automatización), perteneciente a la Facultad Regional Resistencia- UTN. El mencionado sistema, posee la particularidad que el proceso de medición lo realiza utilizando WiFi, es decir a distancia del lugar donde se encuentra el equipo experimental. La adquisición de los datos se almacena en una memoria extraíble del equipo, para luego utilizarla en una PC con la finalidad de realizar el tratamiento de los datos registrados.

En la Figura 2 se observa el equipo de medición de parámetros y en la Figura 3 el de adquisición de datos (Spotorno et al, 2024).



**Figura 2:** Sistema de medición de parámetros



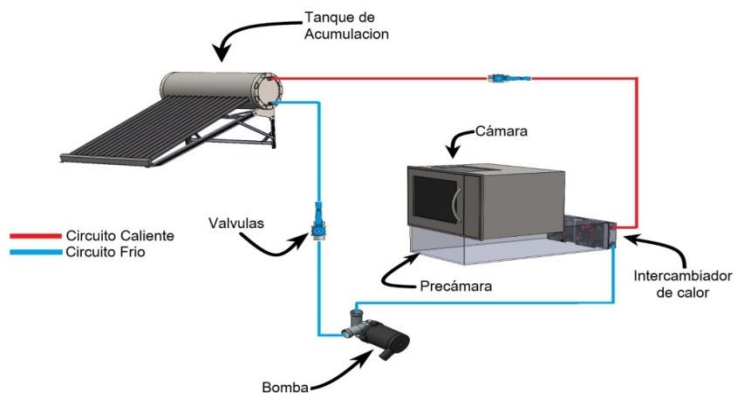
**Figura 3:** Sistema de adquisición de parámetros

Para registrar el peso de las hojas durante el proceso de deshidratación y la oxidación térmica, se empleó una balanza granataria digital de alta gama Marca Mettler modelo PJ3000. Se realizó la pesada al inicio y a intervalos de cada hora de las hojas. Cuando el peso de los mismos se estabiliza, significa que el proceso de deshidratación ha finalizado.

#### 4- Deshidratación y oxidación térmica híbrida solar-eléctrica de hojas de *Cannabis sativa* L.

En la Figura 4 (Spotorno et al, 2024) se puede observar el esquema representativo del sistema del equipo utilizado. En la misma se aprecia el colector solar de placa plana de agua caliente con su respectivo acumulador. El proceso de circulación del agua entre el intercambiador de calor y el calefón solar lo realiza una bomba. En el caso de lluvias o escasa radiación solar, un termostato activa una resistencia eléctrica ubicada en el interior del acumulador del calefón solar, permitiendo continuar el calentamiento de agua, con la finalidad de no interrumpir el proceso de secado. Además, se observa dos válvulas que permiten la apertura o el cierre de la circulación del agua del circuito de secado, con la finalidad de realizar el mantenimiento del sistema de secado propuesto.

La configuración y operatividad del sistema de secado solar utilizado se fundamentan en el diseño detallado por Spotorno et al. (2024), cuya descripción exhaustiva de los componentes y su funcionamiento justifica la incorporación de las Figuras 2, 3 y 4 en el presente estudio. Estas ilustraciones, retomadas de la citada investigación, resultan esenciales para contextualizar la disposición técnica del equipo y facilitar la comprensión del diseño experimental empleado, garantizando así la trazabilidad y coherencia con los antecedentes metodológicos de la línea de investigación.



**Figura 4.** Esquema representativo del equipo de deshidratación y oxidación térmica híbrida solar-eléctrica de hojas de *Cannabis sativa L*

Se realizaron procesos de deshidratación y oxidación térmica de hojas de *Cannabis sativa L*. utilizando el equipo descrito precedentemente, utilizando una resistencia eléctrica ubicada en el tanque de acumulación y graduada a 60°C de temperatura mediante un termostato, con el objetivo de fortalecer el aprovechamiento solar durante las horas que requirieron los procesos.

Se evaluó la deshidratación seguida de oxidación térmica según las siguientes condiciones:

- a. Muestras de "Lote Corto" (LC), se sometieron a deshidratación y oxidación térmica durante 10 (diez) horas.
- b. Muestras de "Lote Largo" (LL), se sometieron a deshidratación y oxidación térmica durante 30 (treinta) horas.

En ambos casos, dado que estos ensayos son de prospección, se realizaron repeticiones en ambos lotes a fin de determinar si los resultados presentan variabilidades o falta de ajustes significativos.

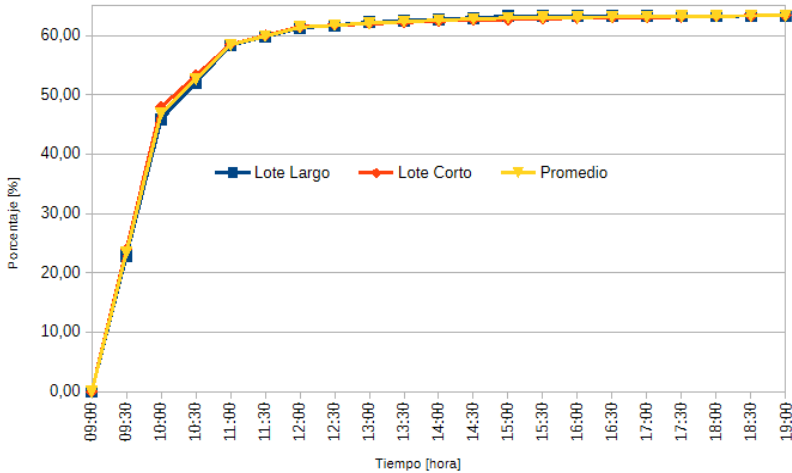
#### 5- Extracción de compuestos activos de hojas de *Cannabis sativa L*.

Para la extracción de CBD, THC y CBN tanto de las hojas frescas como de las hojas sometidas a deshidratación y oxidación térmica se utilizó un equipo Soxhlet provisto de una manta calefactora para la evaporación del solvente y un circuito de refrigeración en el que se aseguró en todo momento una temperatura inferior a los 20°C con el objetivo de condensar el solvente junto con los compuestos activos extractados. Como solvente se utilizó alcohol etílico al 96% V/N, potable de origen agrícola, elaborado por Ri-Mar alcoholes SRL R.N.E.:02-002058, apto para ser utilizado en la elaboración de licores de uso comercial.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 5 se observa la pérdida porcentual de masa de las hojas sometidas a estrés térmico en ensayos que comenzaron en todos los casos a las 09:00 h y se prolongaron de acuerdo al diseño de los experimentos durante 10 (diez) horas para el LC y 30 (treinta) horas para el LL. Es posible atribuir esta pérdida de masa a la evaporación del agua tanto libre como ligada presente en el material vegetal.

Los ensayos, representados por curvas significativas, se realizaron siguiendo las indicaciones descriptas en el inciso 4 del apartado "Materiales y Métodos". En la Figura 5, las tres curvas de resultados presentan un ajuste sobresaliente, evidenciando una coincidencia perfecta a lo largo de todo el rango de estudio.

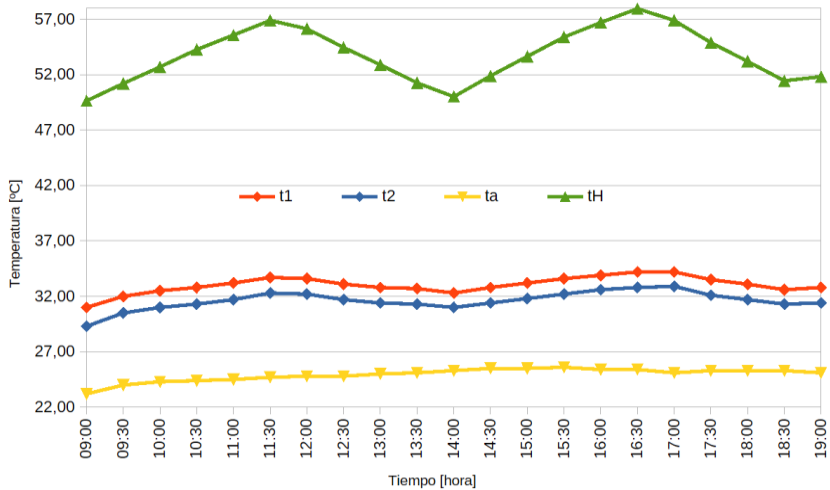


**Figura 5.** Curvas de estrés térmico en el Secadero-Reactor de hojas de *Cannabis sativa L*

En la Figura 5, pueden identificarse dos zonas de estrés térmico: la primera zona desde las 09:00 h hasta las 14:00 h, corresponde al proceso de deshidratación mientras que la segunda zona (en la que la variación porcentual disminuye), desde las 14:00 h en adelante, corresponde a la oxidación térmica. Es decir, la deshidratación del material vegetal se produce durante las 5 (cinco) primeras horas de estrés térmico y a partir de ese momento tendría lugar la oxidación térmica.

Respecto del proceso de deshidratación y oxidación térmica tanto para el LL como para el LC de hojas de *Cannabis sativa L*. se observa un comportamiento similar, lo cual resulta coincidente con lo reportado por Kanabus et al. (2024).

En la Figura 6, se observa las curvas de temperaturas: tH (temperatura del agua proveniente del tanque de acumulación), t1 (temperatura en el aire a la entrada de la cámara de secado), t2 (temperatura del aire a la salida de la cámara de secado) y ta (temperatura ambiente).



**Figura 6.** Curvas de temperaturas del Secadero-Reactor de hojas de *Cannabis sativa L*

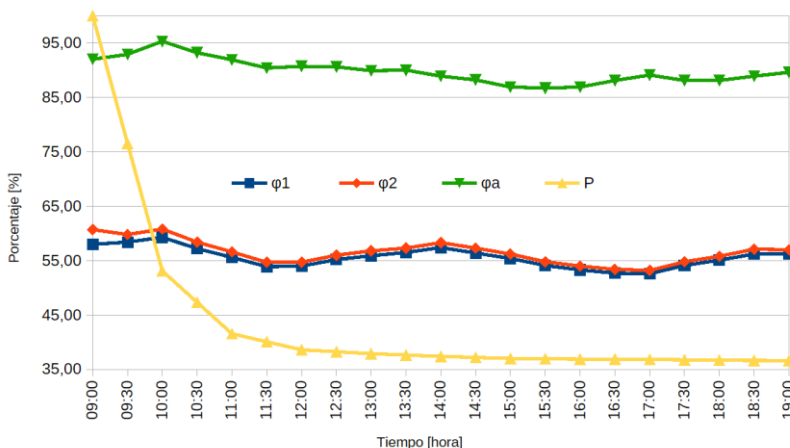
La  $t_2$  se mantiene en un valor inferior a la  $t_1$  lo que demuestra que el estrés térmico es constante dentro del Secadero-Reactor, ya que la entrega de energía por parte del aire al material vegetal se mantiene a lo largo del tiempo. Además, en el Figura 6 se observa que  $t_1$  y  $t_2$  reproducen la forma de diente de sierra de  $t_H$ , lo que indica el excelente funcionamiento del intercambiador de calor. En todos los casos las curvas de la Figura 6 corresponden a valores representativos de los ensayos que componen el LC y el LL.

Los perfiles de humedad obtenidos evidencian el funcionamiento operativo del Secadero-Reactor, permitiendo identificar dos etapas críticas en el procesamiento del material: la deshidratación y la oxidación térmica. Esta transición es consistente con los hallazgos de Kanabus et al. (2024), quienes señalan que la reducción de humedad y la exposición térmica prolongada son los principales factores que impulsan la transformación de los cannabinoides hacia sus formas oxidadas.

En la Figura 7 se observa como varía el valor porcentual promedio ( $P$ ) de la masa de material vegetal en la cual se distingue que a lo largo del estrés térmico se produce una zona de deshidratación (en la que se evidencia una variación de masa del material vegetal) y otra zona de oxidación térmica (en la que la masa del material vegetal se mantiene constante). Además, se aprecia que  $\phi_a$  (humedad relativa ambiente) se mantiene relativamente constante por encima del 85% lo que resulta representativo del periodo húmedo en el que se han desarrollado los ensayos.

En la Figura 7 se observa que las curvas  $\phi_1$  (humedad relativa del aire a la entrada de la cámara de secado) y  $\phi_2$  (humedad relativa del aire a la salida de la cámara de secado), varían a lo largo del tiempo y alrededor de las 15:00 h se superponen, indicando que los valores coinciden antes y después de entrar en contacto con el material vegetal lo cual señala la finalización del proceso de

deshidratación y el inicio del proceso de oxidación térmica. Lo mencionado indica la existencia de dos zonas de estrés térmico que genera el Secadero-Reactor y que la transición de la zona de deshidratación y la zona de oxidación térmica se produce en el intervalo de 5 h a 6 h de iniciado el proceso de estrés térmico.



**Figura 7.** Curvas de humedad del Secadero-Reactor de hojas de *Cannabis sativa L*

Se determinaron los valores de CBD, THC y CNB utilizando el HPLC a partir de muestras obtenidas de extracciones utilizando el equipo Soxhlet, de las hojas frescas y el material deshidratado y oxidado de los ensayos que componen el LL y el LC.

En la Tabla 3 se ha considerado la suma de CBD, THC y CNB como el total de los compuestos activos, en cambio, los extractos claramente contienen otros compuestos activos de relevancia entre los que pueden ser mencionados: clorofilas, fitoquímicos, antioxidantes, carotenoides y otras sustancias bioactivas que no se informan en el presente trabajo dado que excede a los alcances planteados.

Además, la Tabla 3 presenta un resumen de las muestras caracterizadas (hojas de *Cannabis sativa L*) y el perfil químico de los ápices de la "Genética Rucucú". Para el caso particular del CBD se observa que los ápices poseen una concentración de 210 miligramos por gramo de material vegetal utilizado, mientras que el promedio de los ensayos que conforman el LL presentan un valor de 53,05 miligramos por gramo de material vegetal y los que componen el LC tienen una concentración de CBD de 49,63 miligramos por gramo de material vegetal. El promedio de las hojas frescas presenta un valor de 12,00 miligramos por gramo de material vegetal, indicando que la concentración de CBD en un gramo de ápice equivale a cuatro gramos de hojas deshidratadas.

Al analizar los valores presentados en la Tabla 3, se observa que las concentraciones de THC y CBN cuantificadas en las hojas deshidratadas y oxidadas térmicamente en el Secadero-Reactor muestran una correlación consistente con los valores de estos compuestos activos en el ápice de la variedad

“Genética Rucucú”. Este hallazgo resulta particularmente relevante para la evaluación de los metabolitos activos presentes en las hojas.

Tabla 3. Concentración de CBD, THC y CBN

Muestras	Compuesto	Concentración (mg/g)	Concentración %
<b>Ápices de Rucucú</b>	CBD total (mg/g materia vegetal)	210,00	92,96
	THC total (mg/g materia vegetal)	15,00	6,64
	CBN total (mg/g materia vegetal)	0,90	0,40
	<b>TOTAL</b>	225,90	100,00
<b>Hojas Frescas</b>	CBD total (mg/g materia vegetal)	12,00	99,26
	THC total (mg/g materia vegetal)	0,09	0,74
	CBN total (mg/g materia vegetal)	0,00	0,00
	<b>TOTAL</b>	12,09	100,00
<b>Lote Corto (LC)</b>	CBD total (mg/g materia vegetal)	49,63	94,09
	THC total (mg/g materia vegetal)	2,64	5,00
	CBN total (mg/g materia vegetal)	0,48	0,91
	<b>TOTAL</b>	52,75	100,00
<b>Lote Largo (LL)</b>	CBD total (mg/g materia vegetal)	53,05	94,75
	THC total (mg/g materia vegetal)	2,68	4,78
	CBN total (mg/g materia vegetal)	0,26	0,47
	<b>TOTAL</b>	55,99	100,00



Figuras 8: Hojas frescas y deshidratadas-oxidadas de *Cannabis sativa L* y 9.



Figura 9: Hojas deshidratadas y oxidadas de *Cannabis sativa L*

La Figura 8 muestra las hojas de *Cannabis sativa L*. en su estado original antes del tratamiento térmico, mientras que la Figura 9 presenta el material vegetal posterior a la deshidratación y oxidación térmica. Al comparar ambas imágenes, se evidencia una considerable transformación en el material: las hojas pierden la

turgencia y el color verde intenso característico, adquiriendo una coloración más apagada, verde pálido, amarillento y opaco, con matices marrones. Esta drástica reducción de volumen y peso es una clara evidencia de la deshidratación inducida. No obstante, las hojas deshidratadas y oxidadas térmicamente mantienen una pigmentación verdosa residual. Esto sugiere la presencia remanente de compuestos activos como clorofilas, carotenoides, fitoquímicos y antioxidantes, cuya cuantificación y estudio quedan fuera del alcance del presente trabajo.

## CONCLUSIONES

Las curvas de estrés térmico en el Secadero-Reactor de hojas de *Cannabis sativa* L presentan consistencia entre los ensayos realizados, confirmando que la diferencia entre LL y LC no afecta significativamente la cinética del proceso de deshidratación y posterior oxidación térmica.

Las curvas de humedad relativa manifiestan la existencia de una zona de deshidratación y una zona de oxidación térmica del material vegetal y confirman que la deshidratación se produce durante las 5 a 6 primeras horas de iniciado el estrés térmico y que luego solo tiene lugar un proceso oxidativo por acción térmica.

Los resultados de las determinaciones químicas evidencian que el material residual generado en la cannabicultura implica el descarte de compuestos activos, particularmente CBD, en una relación estimada de 1:4 (gramos de ápice respecto a gramos de hojas deshidratadas y oxidadas térmicamente). Este hallazgo señala una pérdida sustancial tanto en términos productivos como económicos, asociada al manejo ineficiente de los subproductos vegetales.

**Financiamiento:** Las tareas desarrolladas en el marco del presente trabajo fueron financiadas por la Facultad Regional Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional y la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura de la Universidad Nacional del Nordeste.

**Conflicto de interés:** Los autores no tienen potenciales conflictos de interés que declarar.

**Disponibilidad de datos:** los datos que respaldan los resultados de este estudio están disponibles a solicitud del autor correspondiente, Alfredo Fabián Sequeira ([alfreseq@gmail.com](mailto:alfreseq@gmail.com)).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Challa, S. K. R., Misra, N. N., & Martynenko, A. (2021). Drying of cannabis—state of the practices and future needs. *Drying Technology*, 39(14), 2055–2064. 10.1080/07373937.2020.1752230
- Chasiotis, V., Tsakirakis, A., Termentzi, A., Machera, K., & Filios, A. (2022). Drying and quality characteristics of *Cannabis sativa* L. inflorescences under constant and time-varying convective drying temperature schemes. *Thermal Science and Engineering Progress*, 28, 101076. 10.1016/j.tsep.2021.101076
- García-Tejero, I. F., Durán Zuazo, V. H., Sánchez-Carnenero, C., Hernández, A., Ferreiro-Vera, C., & Casano, S. (2019). Seeking suitable agronomical practices for industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivation for biomedical applications. *Industrial Crops and Products*, 139, 111524. 10.1016/j.indcrop.2019.111524
- Jin, D., Dai, K., Xie, Z., Zhang, J., & Cheng, W. (2020). Secondary Metabolites Profiled in *Cannabis* Inflorescences, Leaves, Stem Barks, and Roots for Medicinal Purposes. *Scientific Reports*, 10, 3309. 10.1038/s41598-020-60172-6

- Kanabus, J., Bryła, M., & Roszko, M. (2024). Effect of selected drying methods on the cannabinoid profile of *Cannabis sativa* L. var. *sativa* inflorescences and leaves. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 74(4), 408–418. 10.31883/pjfn/195594
- Milay, L., Berman, P., Shapira, A., Guberman, O., & Meiri, D. (2020). Metabolic Profiling of Cannabis Secondary Metabolites for Evaluation of Optimal Postharvest Storage Conditions. *Frontiers in Plant Science*, 11, 583605. 10.3389/fpls.2020.583605
- Nagy, D. U., Cianfaglione, K., Maggi, F., Sut, S., & Dall'Acqua, S. (2019). Chemical Characterization of Leaves, Male and Female Flowers from Spontaneous Cannabis (*Cannabis sativa* L.) Growing in Hungary. *Chemistry & Biodiversity*. 10.1002/cbdv.201800562
- Small, E. (2015). Evolution and Classification of *Cannabis sativa* (Marijuana, Hemp) in Relation to Human Utilization. *The Botanical Review*, 81, 189–294. 10.1007/s12229-015-9157-3
- Spotorno, R. A., Pochettino, J. J., García, F., Veppo, J., & Sequeira, A. (2024). Desarrollo y automatización de un secadero solar para vegetales y productos elaborados de alimentación fisiológica saludable. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 9(2), 45–60. 10.30972/eitt.927927
- Spotorno, R. A., Pochettino, J. J., Sosa, C. A., & Sequeira, A. F. (2025). Secado solar con control de temperatura de aire de vegetales y productos elaborados de alimentación fisiológica saludable. *Revista Científica de la UCSA*, 12(2), 3–14. 10.18004/ucsa/2409-8752/2025.012.02.003
- White, C. M. (2019). A Review of Human Studies Assessing Cannabidiol's (CBD) Therapeutic Actions and Potential. *The Journal of Clinical Pharmacology*, 59, 923–934. 10.1002/jcph.1387
- Zuardi, A. W., Crippa, J. A. S., Hallak, J. E. C., Moreira, F. A., & Guimarães, F. S. (2006). Cannabidiol, a *Cannabis sativa* constituent, as an antipsychotic drug. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 39, 421–429. 10.1590/S0100-879X2006000400001