



UN MÉTODO INNOVADOR PARA TRANSFORMAR RESIDUOS EN CELULOSA



Guillermo Canosa Rabadán

g.canosa03@gmail.com

Pedro Gefaell Berenguer

peter.gefaell@gmail.com

Luis Muñoz Saucedo

luismusaucedo@gmail.com

Javier Fernández-Portal Díaz del Río

javierportal@olimpiadadebiologia.edu.es (Director)



RESUMEN

En este trabajo, investigamos sobre la producción de papel utilizando una simbiosis de levaduras y bacterias llamada *Kombucha*. Para ello, estudiamos los tres factores principales que afectan al crecimiento de la simbiosis: pH, consumo de distintos productos orgánicos y el medio de cultivo; y realizamos un estudio comparativo entre el papel obtenido de la *Kombucha* y el papel normal. Finalmente, comparamos el coste de producción económico y ecológico de ambos papeles.

ABSTRACT

In this project, we have investigated the production of paper using a symbiosis of yeasts and bacteria called *Kombucha*. In the order to do so, we have studied three different factors that affect the growth of the symbiosis: pH, consumption of different organic products and the culture medium; and we have made a comparative study between the paper obtained from the *Kombucha* and the current paper. Finally, we have compared the cost of economic and ecological production of both papers.

GLOSARIO DE TÉRMINOS PRINCIPALES

- Cepa madre: una cepa es un microorganismo del tipo fenotípico que representa una proporción derivada de un organismo mayor; por lo que la cepa madre será el microorganismo original¹.
- *Kombucha*: simbiosis de diferentes especies de levaduras y acetobacterias, principalmente *Bacterium xylinum*. Las especies de levaduras que se ven involucradas en la fermentación pueden variar dependiendo de muchos factores, y entre ellas se incluyen: *Candida stellata*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Brettanomyces bruxellensis*, *Torulaspora delbrueckii* y *Zygosaccharomyces bailii*².
- Contaminación: acción y efecto de contaminar. Alterar nocivamente la pureza o las condiciones normales de un medio (en este caso el medio ambiente) por agentes químicos o físicos³.
- Simbiosis: asociación de individuos animales o vegetales de diferentes especies, en la que ambos asociados sacan provecho de la vida en común⁴.

¹ <https://conceptodefinicion.de/cepa/> (último acceso: 27 de enero de 2019)

² <https://es.wikipedia.org/wiki/Kombucha> (último acceso: 27 de enero de 2019)

³ <http://dle.rae.es/?id=AU1m1dd> (último acceso: 27 de enero de 2019)

⁴ <http://www.wordreference.com/definicion/simbiosis> (último acceso: 27 de enero de 2019)



INTRODUCCIÓN

En este trabajo, trabajamos con una simbiosis de bacterias y levaduras llamada Kombucha. Esta simbiosis, al ser alimentada con los nutrientes necesarios, produce una capa de **celulosa** que, si se deja secar, forma láminas de papel que pueden sustituir al papel convencional.

Además, lo produce con unos **costes** muy reducidos en comparación con los altos costes químicos, de agua y de electricidad que presenta la industria papelera tal y como la conocemos. Este será uno de los apartados que estudiaremos a lo largo del trabajo, junto con las condiciones óptimas para su cultivo. Sin embargo, el Kombucha no es solo **aplicable** a la industria papelera, sino también a la industria farmacéutica e, incluso, a la textil, como se explica en el “Estado de la cuestión”.

Conocimos de la existencia del Kombucha gracias a nuestro profesor de Biología y director de este trabajo, quien ya conocía algunas de las ventajas de esta simbiosis de bacterias y levaduras. Él ya había trabajado en otra ocasión con el mismo material, pero habían quedado algunas lagunas en sus investigaciones previas y nos propuso continuar con el trabajo y completarlo. Desde el primer momento nos fascinó la polivalencia del Kombucha, y nos pusimos a trabajar en él inmediatamente para estudiar más profundamente sus diversas aplicaciones.

Los principales temas de investigación que elegimos fueron: estudiar su comportamiento con diferentes tipos de alimento, medio de cultivo y pH, y a partir de los datos recogidos estudiar las implicaciones ecológicas y económicas del Kombucha en diversas industrias.

A lo largo de este trabajo, nos gustaría descubrir los factores que afectan el crecimiento del Kombucha para optimizar su producción en masa y comparar los gastos de la producción de papel de Kombucha con el papel convencional.

ESTADO DE LA CUESTIÓN

La simbiosis de levaduras y bacterias *Kombucha* ya se ha utilizado en la cultura nipona con ese nombre, por lo menos, desde el siglo XX como un té bebible que, según dicen, tiene propiedades curativas y es muy saludable. Actualmente, el té de *Kombucha* está bastante extendido en el mundo y ya se puede comprar en España, aparte de a través de plataformas digitales, en algunos establecimientos.

En la industria textil se está empezando a expandir de forma acelerada BIOCOUTURE, una empresa de diseño pionera en la producción de ropa con materiales biológicos como es la celulosa. Esta empresa es dirigida por Suzanne Lee [1], que comenzó en 2010 en su casa a producir ropa con la celulosa producida por el *Kombucha*.

También se investigan las posibilidades de utilizarlo como fuente de combustible, pues en el medio se produce etanol, ya que hay una fermentación de los azúcares. Este combustible es mucho más ecológico que los que existen actualmente como la gasolina y el gas natural y, por encima de todo, es un recurso 100% renovable. 

El profesor Anthony J. Atala [2] ha trabajado en la producción de prótesis médicas con base en la celulosa producida por la simbiosis de microorganismos con la que trabajamos. Estas podrían ser un buen sustituto para las prótesis actuales. La idea sería usarla como molde a partir del cual las células especializadas introducidas se encargarían de producir el hueso y con el paso del tiempo el molde se descompondría, pues es completamente biodegradable. Esto sería posible gracias al ácido hialurónico producido por el *Kombucha*, el cual es imprescindible en la producción de muchos de los tejidos del cuerpo. Podría ser utilizado, además, en la producción de gel y en el tratamiento médico de lesiones, especialmente de quemaduras graves y en esguinces o la osteoartritis [3].

Otros alumnos del colegio Retamar hicieron, hace 5 años, un estudio profundo sobre la producción de celulosa de esta simbiosis, si bien no estudiaron los mismos factores que nosotros observamos en este trabajo. 

OBJETIVOS

En este trabajo se propone utilizar el *Kombucha* para producir celulosa a partir de materia orgánica. Hemos tratado de averiguar las condiciones óptimas para su cultivo, fijándonos en cinco factores cruciales:

- **Estudio de tasa de crecimiento frente a variación del pH:** a partir de tres recipientes obtuvimos datos sobre el pH, y pudimos observar que el crecimiento óptimo se produjo a pH 2. Se produce un incremento en masa del biofilm muy notable, al pasar de un inóculo inicial de 200g a una masa de 18Kg en un periodo de 60 días.
- **Estudio del crecimiento del *Kombucha* en función de distintos alimentos:** el crecimiento de la simbiosis de microorganismos y levaduras será mayor o menor dependiendo de los alimentos que le proporcionemos: la disponibilidad de carbohidratos en los alimentos favorece el crecimiento del *Kombucha*. Comprobamos su habilidad para alimentarse de muy diferentes fuentes de alimento, haciéndolo un candidato importante para posibles métodos de reciclaje de residuos orgánicos.

- **Estudio del crecimiento en función de la temperatura:** afecta al crecimiento de la simbiosis levemente, pero puede ser significativo. También probamos la supervivencia del Kombucha a temperatura extremadamente frías.
- **Estudio del crecimiento del Kombucha en función de distintos tipos de té en el medio de cultivo:** el medio de cultivo es uno de los factores más importantes en el crecimiento. Es la principal fuente de nutrientes, y sirve además para regular el pH óptimo.
- **Estudio ecológico y económico del Kombucha:** nos referimos a la posibilidad de que se incorporara la simbiosis a la industria papelera, pudiendo reducir la tala de árboles y, consecuentemente, favoreciendo a la eco-sostenibilidad. También contribuiría a la disminución de la contaminación que la industria papelera produce.

Los alimentos que hagan crecer en mayor proporción al Kombucha serán, presumiblemente, aquellos que contengan mayor cantidad de carbohidratos que le proporcionarán la energía necesaria para desarrollarse.



Esperamos descubrir, a través de ese trabajo, las condiciones óptimas para el crecimiento del Kombucha y así poder implementarlo a la industria papelera.



1. ESTUDIO DEL CRECIMIENTO Y EVOLUCIÓN DEL pH

Empezamos con tres recipientes, cuyas medidas son 64x34x15 cm= 32,6 L, en los que pusimos 200 g de la cepa madre comprada en la empresa alemana *Wellness drinks*. Como medio de cultivo, utilizamos una disolución de té con azúcar, que consistía de 0.15 gramos de té/100 mL de agua y 3 gramos de azúcar/100 mL de agua, teniendo como referencia las proporciones de té y de azúcar utilizadas en distintos experimentos. [4]

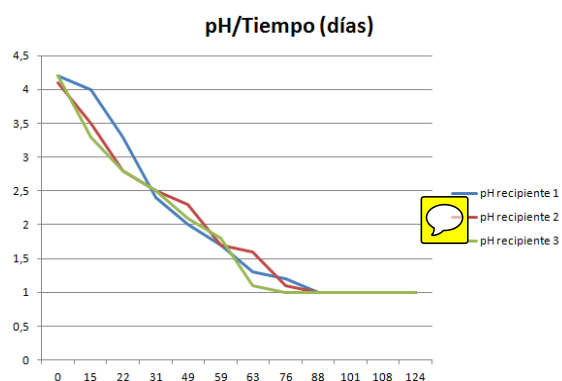


Juntamos esa disolución con 4 L de agua destilada, a la que más tarde añadimos 167 mL de **ácido acético** para acidificar hasta el **pH 4**. A partir de entonces, comenzamos a hacer un seguimiento de la masa con respecto al pH y al tiempo.

Días de cultivo	pH recipiente 1	pH recipiente 2	pH recipiente 3
0	4,2 ± 0,1	4,1 ± 0,1	4,2 ± 0,1
15	4,0 ± 0,1	3,5 ± 0,1	3,3 ± 0,1
22	3,3 ± 0,1	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,1
31	2,4 ± 0,1	2,5 ± 0,1	2,5 ± 0,1

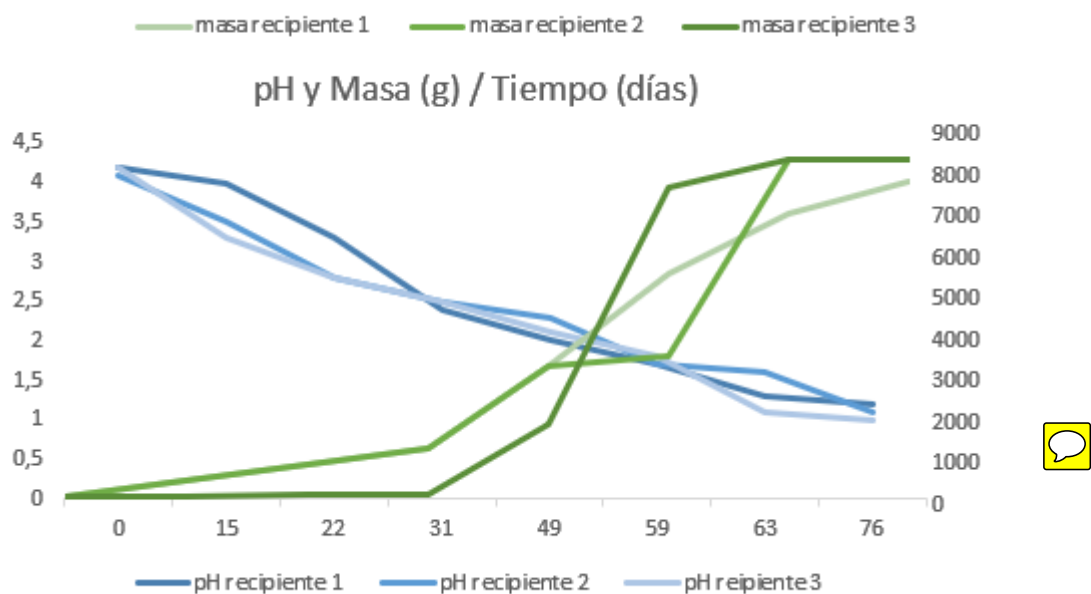


49	2,0 ± 0,1	2,3 ± 0,1	2,1 ± 0,1
59	1,7 ± 0,1	1,7 ± 0,1	1,8 ± 0,1
63	1,3 ± 0,1	1,6 ± 0,1	1,1 ± 0,1
76	1,2 ± 0,1	1,1 ± 0,1	1,0 ± 0,1
88	1,0 ± 0,1	1,0 ± 0,1	1,0 ± 0,1
101	1,0 ± 0,1	1,0 ± 0,1	1,0 ± 0,1
108	1,0 ± 0,1	1,0 ± 0,1	1,0 ± 0,1
124	1,0 ± 0,1	1,0 ± 0,1	1,0 ± 0,1



Podemos observar en esta gráfica y en la tabla cómo varía el pH. Nada más empezar, el medio de cultivo tenía pH 4. A medida que crecía, el pH bajó debido al ácido acético que añadimos y a partir de ahí disminuyó aún más sin agentes externos hasta llegar a pH 1, donde se mantuvo. Para medir el pH utilizamos un pH-metro (Etekcity).

Comparando la gráfica del pH con la de la masa, podemos observar cómo el pH óptimo es pH 2, ya que el crecimiento de la simbiosis se disparó en el momento que rondaban este pH.



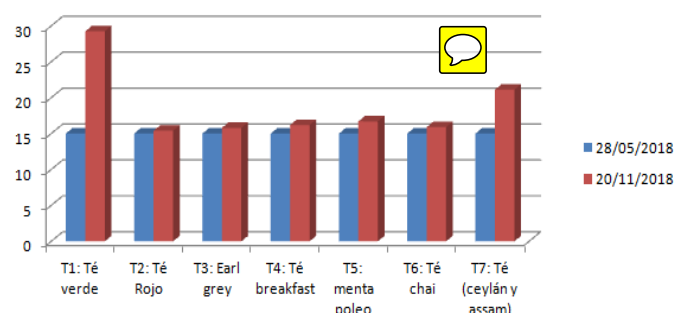
En la gráfica se puede ver cómo se produce un incremento en masa del biofilm de 4115%, al pasar de un inóculo inicial de 200g a 18Kg en un periodo de 72 días

2. DIFERENTES TIPOS DE TÉ

El medio de cultivo es una de las partes más importantes a la hora de estudiar el crecimiento del *Kombucha*. Proporciona los nutrientes necesarios para su desarrollo. Investigamos sobre la influencia que el medio de cultivo tiene sobre el *Kombucha* dependiendo de su composición. La primera variable que escogimos fue el tipo de té. Utilizamos siete tipos de té para el medio de cultivo, en los que empezamos con una cantidad inicial de 15 g. En la siguiente tabla se muestra el crecimiento en función del tiempo: (Usamos placas de tamaño reducido, con 3 repeticiones de cada tipo de té).⁵

Tipo de té	Día 0	Día 176
T1: Té verde	15 ± 0,01 g	29,25 ± 0,01 g
T2: Té Rojo	15 ± 0,01 g	15,4 ± 0,01 g
T3: Earl grey	15 ± 0,01 g	15,8 ± 0,01 g
T4: Té breakfast	15 ± 0,01 g	16,2 ± 0,01 g
T5: menta poleo	15 ± 0,01 g	16,7 ± 0,01 g
T6: Té chai	15 ± 0,01 g	15,9 ± 0,01 g
T7: Té (ceylán y assam)	15 ± 0,01 g	21,11 ± 0,01 g

Variación de la masa en función del tipo de té del medio



3. DISTINTOS ALIMENTOS

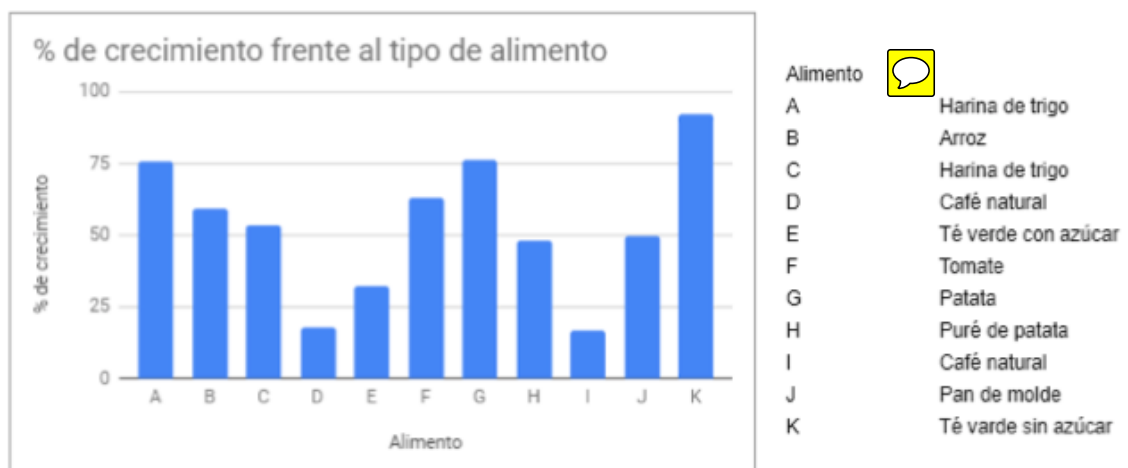
De modo paralelo a los experimentos del medio de cultivo, hicimos un estudio del crecimiento del kombucha en función de distintos tipos de alimentos, controlando la cantidad de carbohidratos que cada uno contenía. En cada recipiente, se introdujeron 200 mL de medio de cultivo y los siguientes valores distintos de cada alimento:

LETRA DEL RECIPIENTE	ALIMENTOS	CANTIDADES DE ALIMENTOS	g DE CARBOHIDRATOS /100 g DE ALIMENTOS	% de crecimiento del Kombucha
A y C	Harina de Trigo (marca Aragonesa®)	147 ± 0,01 g y 165 ± 0,01 g (respectivamente)	76%	75,7% y 53,1% (respectivamente)
B	Arroz (marca SOS®)	160 ± 0,01 g	28%	59,4%
D e I	Café natural (marca Día®)	167 ± 0,01 g y 165 ± 0,01 g (respectivamente)	1,7%	17,8% y 16,9% (respectivamente)

⁵ Todos los té s son de la marca Hacendado™ y se compraron en Mercadona™.

E	Té verde (marca Hacendado™) con azúcar	140 ± 0,01 g	82%	31,9%
F	Tomate	145 ± 0,01 g	40%	63,1%
G	Patata	125 ± 0,01 g	80%	76,4%
H	Puré de patata	163 ± 0,01 g	15%	47,9%
J	Pan de molde (marca Bimbo®)	170 ± 0,01 g	53,6%	49,6%
K	Té verde (marca Hacendado™) sin azúcar	115 ± 0,01 g	2%	92,2%

La siguiente gráfica muestra el porcentaje de crecimiento del biofilm en función del alimento utilizado:

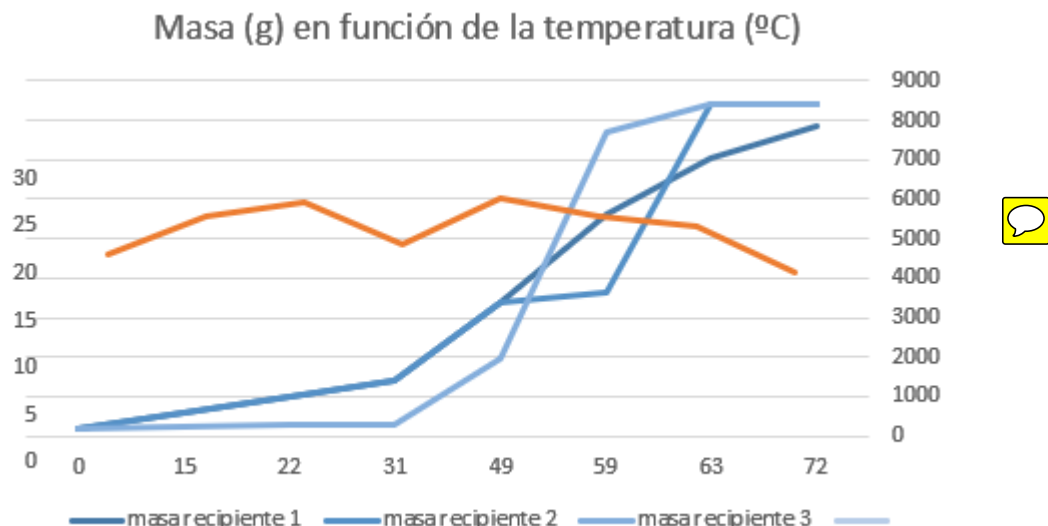


A partir de estas gráficas, podemos observar cómo el té con azúcar es el alimento que hace crecer más a la *kombucha* en cuestión, al igual que las patatas y la harina de trigo, alimentos ricos en carbohidratos.

Comprobamos así su habilidad para alimentarse de muy diferentes fuentes de alimento, haciéndolo un candidato importante para posibles métodos de reciclaje de residuos orgánicos.

4. ESTUDIO DE LA TEMPERATURA

A falta de poder mantener una temperatura constante, decidimos registrar la temperatura ambiental a la vez que el crecimiento del Kombucha. De esta manera, podemos observar que la temperatura a la que el Kombucha crece más rápido es alrededor de **27,3°C**.



Otro estudio que realizamos fue someter al Kombucha a **temperaturas extremas**. en concreto, lo congelamos **a -30°C durante 12 días, haciendo 4 repeticiones**. **Después de sacarlo del congelador, el Kombucha siguió creciendo**. Suponemos que morirían algunas de las especies de bacterias y levaduras que componen el Kombucha, pero no todas. De esta forma, la simbiosis en su conjunto pudo seguir creciendo.

5. ESTUDIO DE LA RESISTENCIA

Estudiamos la resistencia de las láminas de celulosa obtenidas del *kombucha* y láminas de un grosor similar, de papel. La resistencia se define como la capacidad que tiene un cuerpo de soportar una fuerza. Medimos la resistencia en unidades del sistema internacional, es decir, N/m^2 .

Metodología

Para medir la resistencia, realizamos un montaje formado por unas tablas de madera en las que introducimos el tejido y lo prensamos con unos gatos. Las tablas de arriba las colgamos con una cuerda a un dinamómetro digital conectado a un Xplorer para medir el máximo peso que resiste dicho material antes de su rotura. El otro extremo del tejido se engancha a una percha de 1,75 m de alto. Al otro lado de las tablas le atamos un bidón de 10L al cual le enganchamos una manguera de 5 cm de diámetro.

Una vez terminado todo el montaje, metemos la manguera por la botella y abrimos el grifo. A continuación esperamos a que el tejido enganchado se rasgue y con él, se caiga

la mitad del montaje. Después observamos el tiempo que ha tardado en romperse, los litros de agua que contenía la botella justo en el momento de rotura y por último la fuerza aplicada al tejido para que se rompa. Una vez realizado esto en muchos tejidos (muestras), podemos obtener los datos tanto del papel como de la celulosa y con ellos poder compararlos.

Tras obtener el peso de cada muestra realizamos una media por cada tejido (una para la celulosa y otra para el papel). A esta media restamos el peso de las tablas y del gato que sujetaba el tejido por la parte de arriba. De este modo, obtendremos la fuerza de rotura (N). Por otro lado calculamos el área (m²) del grosor del ancho (cada material tendrá su propio grosor). Finalmente calculamos la tensión de rotura a lo que denominamos resistencia. Esta tensión de rotura es la fuerza de rotura, que habíamos calculado antes, entre el área del grosor del ancho. Con esto calcularemos la tensión de rotura (N/m²) de cada material, es decir, la resistencia.

Una vez tenemos el montaje preparado realizamos el experimento con 16 muestras de celulosa y 11 de papel. Por tanto, diferenciamos entre datos brutos y datos procesados.

➤ Datos Brutos

RESISTENCIA DEL PAPEL

MUESTRAS	PESO(N)	TIEMPO (S)	VOLUMEN (L)
1	22,00 ± 0,01	20,0 ± 0,1	2,7 ± 0,1
2	34,50 ± 0,01	22,4 ± 0,1	3,8 ± 0,1
3	20,50 ± 0,01	14,8 ± 0,1	2,4 ± 0,1
4	10,32 ± 0,01	11,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1
5	18,21 ± 0,01	10,5 ± 0,1	1,7 ± 0,1
6	22,55 ± 0,01	13,7 ± 0,1	3,8 ± 0,1
7	18,34 ± 0,01	12,0 ± 0,1	2,1 ± 0,1
8	12,20 ± 0,01	10,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1
9	19,24 ± 0,01	9,8 ± 0,1	2,1 ± 0,1
10	22,38 ± 0,01	12,6 ± 0,1	2,5 ± 0,1
11	10,55 ± 0,01	12,3 ± 0,1	1,3 ± 0,1

RESISTENCIA DE LA CELULOSA:

MUESTRAS	PESO (N)	TIEMPO (s)	VOLUMEN (L)
1	55,28 ± 0,01	45,6 ± 0,1	6,6 ± 0,1
2	51,45 ± 0,01	33,1 ± 0,1	5,8 ± 0,1
3	22,30 ± 0,01	13,8 ± 0,1	3,0 ± 0,1
4	57,25 ± 0,01	42,1 ± 0,1	7,5 ± 0,1

5	58,12 $\pm$ 0,01	39,9 $\pm$ 0,1	7,3 $\pm$ 0,1
6	59,06 $\pm$ 0,01	44,7 $\pm$ 0,1	9,2 $\pm$ 0,1
7	38,89 $\pm$ 0,01	20,2 $\pm$ 0,1	3,6 $\pm$ 0,1
8	52,48 $\pm$ 0,01	28,7 $\pm$ 0,1	5,5 $\pm$ 0,1
9	59,50 $\pm$ 0,01	50,5 $\pm$ 0,1	8,6 $\pm$ 0,1
10	58,14 $\pm$ 0,01	54,2 $\pm$ 0,1	8,2 $\pm$ 0,1
11	58,55 $\pm$ 0,01	43,3 $\pm$ 0,1	9,3 $\pm$ 0,1
12	61,42 $\pm$ 0,01	34,8 $\pm$ 0,1	7,5 $\pm$ 0,1
13	50,94 $\pm$ 0,01	25,4 $\pm$ 0,1	5,2 $\pm$ 0,1
14	46,32 $\pm$ 0,01	23,8 $\pm$ 0,1	4,7 $\pm$ 0,1
15	49,18 $\pm$ 0,01	43,2 $\pm$ 0,1	4,5 $\pm$ 0,1
16	33,24 $\pm$ 0,01	38,5 $\pm$ 0,1	3,5 $\pm$ 0,1

➤ Datos Procesados: media de los datos de todas las muestras:

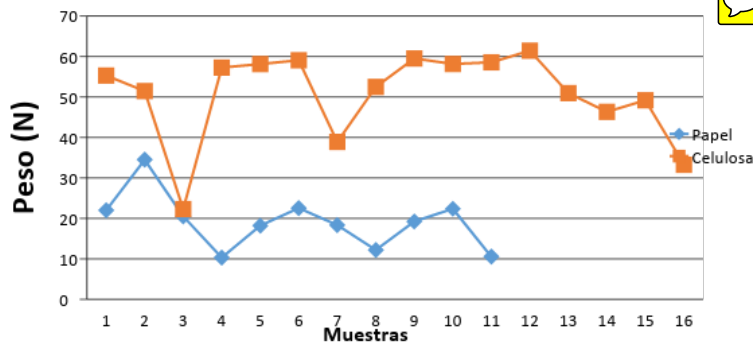
Material	Peso (N)	Tiempo (s)	Volumen (L)
Papel	19.2 $\pm$ 0,01	13.6 $\pm$ 0,1	2.28 $\pm$ 0,1
Celulosa	50.8 $\pm$ 0,01	36.7 $\pm$ 0,1	6.25 $\pm$ 0,1

Como vemos, el peso que puede llegar a soportar la celulosa es claramente superior al del papel. Una vez tenemos estos datos realizamos la medición de la resistencia según la metodología empleada:

1. Calcular el peso del gato y las tablillas: es el mismo en ambos caso: 1,54 .
2. Calcular la fuerza de rotura (F_r) de cada material. Esto es restar el peso medio de las muestras (por un lado la celulosa y por otro el papel) al del peso del gato y tablillas. En la celulosa es de 49,2 N y la del papel es de 17,6 N.
3. Calculamos el área del grosor del ancho (A): grosor x anchura. Nos queda que el área del papel es de $3 \times 10^{-6} \text{ m}^2$, mientras que el área de la celulosa es de $4,2 \times 10^{-6} \text{ m}^2$.
4. Calcular la tensión de rotura (resistencia – T_r): dividir la fuerza de rotura de cada material entre el su área obtenida. Finalmente aplicamos la fórmula: $T_r = F_r / A$

Material	Resistencia (N/m ²)
Papel	$5.8 \times 10^6 \pm 10^3$
Celulosa	$11.7 \times 10^6 \pm 10^3$

Relación: papel y celulosa



Como observamos la celulosa es claramente más resistente que el papel. Según los datos podemos decir que la resistencia de la celulosa con respecto al papel es aproximadamente el doble.

6. ESTUDIO ECONÓMICO Y ECOLÓGICO

Estudio económico

Cuando pensamos en la posibilidad de fabricar papel con la celulosa microbiana, inmediatamente surgió la idea de realizar un estudio económico con el que podamos comparar el coste de la fabricación actual del papel con el nuestro. El coste de un papel no es sólo un número sino que, además, representa entre veinte y cincuenta años de desarrollo del árbol, el proceso industrial, el transporte...



Según ASPAPEL [4] (Asociación española de fabricantes de pasta, papel y cartón), la cadena de valor de la celulosa, papel y cartón supone el 4.5% del PIB y genera uno da cada 50 empleos en nuestro país. Además, está formada por más de 17.000 empresas y aporta 180.000 empleos directos. Por otra parte, cuatro de cada cincuenta euros que factura la industria española están relacionados con la actividad de la cadena papelera. (ASPAPEL, 2018) [5]. Esta industria papelera podría ser sustituida por la industria microbiana y los beneficios aumentarían y, a la vez, la contaminación disminuiría drásticamente. El precio de producción de papel a partir de celulosa vegetal se dispara comparado con el precio de producción de celulosa microbiana de *Kombucha*.

Según un estudio de la Universidad Tecnológica Nacional de Argentina [6], por el método kraft, se producen 338,87 toneladas de papel mensualmente cuyo coste es de un total de 1.637.244€ al mes. Por tanto, 4831,48€ por tonelada. Todo ello sin tener en cuenta los salarios ni el coste de la maquinaria. No obstante, es más difícil de establecer cuánto costaría la producción de una tonelada de papel microbiano, pues nunca se ha realizado a gran escala. A pesar de ello, **realizamos unos cálculos para aproximar el coste. Como se ha señalado antes en la parte del estudio de la evolución del pH, por 100mL de kombucha hacen falta 0,15 gramos de té verde y 3 gramos de azúcar. No obstante de los 100 mL de Kombucha, solo el 20% es celulosa pura, mientras que el resto son los demás componentes de kombucha. Así, para una tonelada harán falta 9,779 gramos de té verde y 195,6 gramos de azúcar. El precio del té verde es de unos**

2,95€ por kg según *Spanish Alibaba* [7], de media. Por otra parte, el precio del azúcar es de 308,19€ por tonelada, según *Precio Oro* [8]. De este modo, por cada tonelada de *kombucha* se gastarían unos 87,55€. A este precio, habría que añadir el coste de una cepa madre (unos 60€ si es muy cara). Sin embargo, a partir de esta cepa se desarrollarían las demás láminas de celulosa. Por tanto el coste es mínimo. Al igual que para el papel no tuvimos en cuenta el gasto en maquinaria o salarios, aquí tampoco. Tampoco hemos calculado el precio de la energía para hervir el té, pues sería muy complejo y necesitaríamos la ayuda de una empresa energética.



Tras este estudio económico, se puede observar la grandísima rentabilidad por parte de la celulosa de *kombucha*. Así, se conseguiría una importante fuente de ahorro y de reducirían los gastos unas 18700 veces.



Estudio ecológico

En este apartado vamos a estudiar el balance del impacto ecológico existente entre la producción de papel en una fábrica y a partir de nuestro método. La producción de papel con métodos tradicionales supone un daño al medio ambiente, un despilfarro de materiales y energía y una enorme contaminación.

En Canadá y en Estados Unidos, el papel es el tercer mayor contaminante industrial en el aire, en el agua y en la tierra. Así, se liberan más de 3100 millones de kilogramos de contaminantes tóxicos cada año [9]. Durante la fabricación de papel se emite dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y dióxido de carbono, aparte de otros contaminantes. También se emiten grandes cantidades de gases contaminantes para llevar a cabo el transporte de los árboles a las fábricas. Teniendo en cuenta las toneladas de madera que se transportan al año (24,5 millones) y la carga máxima permitida de los camiones (44 toneladas), podemos deducir que circulan más de 400.000 camiones al año transportando madera.

Los residuos de papel suponen hasta el 40% de los residuos totales en los Estados Unidos, lo que equivale a 71,6 millones de toneladas de residuos al año sólo en este país. Por otro lado, la fabricación de papel por métodos tradicionales consume nada más y nada menos que un 10% de la energía global. También es destacable el consumo de agua producido por la industria papelera para la fabricación de papel. Se emplean alrededor de 10 metros cúbicos de agua para producir 1 tonelada de papel. [10, 11] A

La producción de papel empleando el *kombucha* supone enormes mejoras en todos estos aspectos:

- El kombucha no produce ningún producto de desecho nocivo, a diferencia de las industrias papeleras tradicionales. Además, es capaz de degradar productos de desecho orgánico que antes resultaban inútiles y con estos como alimento puede producir celulosa de alta calidad. Por ejemplo, algunos residuos de la industria alimentaria, como el suero y el compostado fino, que antes eran un

producto desechado, tienen una utilidad enorme como alimento del Kombucha. No solo funcionan, sino que la celulosa producida por el *kombucha* con estas sustancias como nutriente es de mejor calidad que con el alimento que se le proporcionaba antes.[12]

- La cantidad de agua utilizada es mucho menor: el *kombucha* solo necesita un medio nutritivo en el que desarrollarse y produce láminas de celulosa siempre que se renueven sus nutrientes.
- El gasto de energía es mucho menor, ya que solo es necesario proporcionar al kombucha un medio estable, con una temperatura de entre 20 y 30º.
- También se ahorra toda la energía empleada en el transporte de la madera y se evita la tala de un gran número de árboles.
- Además, las instalaciones son muchos menos costosas y complejas. Solo hace falta maquinaria para ir retirando las láminas de celulosa del kombucha y para mantener el medio estable. No son necesarias grandes cadenas de producción ni fábricas que abarquen mucho terreno; solo hacen falta recipientes y áreas de tamaño reducido para el secado.



	Producción tradicional	Kombucha
Contaminación	3100 millones de kilogramos de contaminantes tóxicos cada año (dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y dióxido de carbono)	-Ningún producto contaminante producido.
Productos de desecho	71,6 millones de toneladas de residuos producidas.	-Ningún producto de desecho nocivo producido. -Degradación de desechos orgánicos.
Gasto energético	10% del gasto energético global	Gasto energético muy bajo
Transporte	Más de 400.000 camiones transportan madera cada año: enorme gasto de energía y tiempo.	No es necesario el transporte (el <i>kombucha</i> puede producir celulosa en la propia fábrica)
Consumo de agua	10 metros cúbicos de agua por tonelada de papel producida.	Consumo de agua bajo: solo se necesita como medio de cultivo del hongo y no es necesario que se renueve.

CONCLUSIONES:

- El crecimiento óptimo se da a pH 2.
- El mejor medio de cultivo para el cultivo es el que contiene té verde.
- Comprobamos su habilidad para alimentarse de muy diferentes fuentes de alimento, haciéndolo un candidato importante para posibles métodos de reciclaje de residuos orgánicos, que contengan carbohidratos.
- El crecimiento óptimo para el del Kombucha se dio a una temperatura de 27,3°C.
- El Kombucha es capaz de sobrevivir (al menos algunas de sus bacterias y levaduras) a temperaturas de -30°C durante al menos dos semanas. Esto lo probamos al someter varios recipientes en un congelador a esa temperatura, y comprobar después de descongelarlo, que conservaba células vivas y capaces de generar celulosa.
- La resistencia del papel producido a partir de la celulosa del Kombucha es mayor, por lo que se podría aplicar a otros ámbitos más allá del papel para escribir, como la creación de ropa o de prótesis médicas, como ya hicieron Suzanne Lee y el doctor Anthony J. Atala, respectivamente.
- Desde un punto de vista económico y ecológico parece que la celulosa microbiana deberá ser en el futuro la vía de producción que sustituya en la industria papelera a la celulosa de origen vegetal.
- Respecto a conclusiones no estudiadas en el laboratorio de forma cuantificable es necesario decir que, en definitiva, la celulosa es un material alternativo a muchos de la industria papelera, textil o médica y, además de ser más eficiente, también concluimos que es un material ecológico y rentable.

BIBLIOGRAFÍA:

- [1] Lee, Suzanne. Grow your own clothes. *TED Talks*. Marzo 2011
https://www.ted.com/talks/suzanne_lee_grow_your_own_clothes
(último acceso: 30/01/2019)
- [2] Atala, Anthony. *Stem Cells Journals*. 23 de septiembre de 2017.
<https://stemcellsjournalsonlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/sctm.17-0053> (último acceso: 27/01/2019).
- [3] Peyron JG. A risk-benefit assessment of injections of hyaluronan and its derivatives in the treatment of osteoarthritis of the knee. Agosto 2000
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10945374> (último acceso: 30/01/2019)

- [4₁] Bhattacharya, D., Bhattacharya, S., Patra, M. M., Chakravorty, S., Sarkar, S., Chakravorty, W., Koley, H. & Gachhui, R. (2016). Antibacterial Activity of Polyphenolic Fraction of Kombucha Against Enteric Bacterial Pathogens. *Curr Microbiol* 73, 885-896.
- [4₂] Chakravorty, S., Bhattacharya, S., Chatzinotas, A., Chakravorty, W., Bhattacharya, D. & Gachhui, R. (2016). Kombucha tea fermentation: Microbial and biochemical dynamics. *Int J Food Microbiol* 220, 63-72.
- [4₃] Hopfe, S., Flemming, K., Lehmann, F., Mockel, R., Kutschke, S. & Pollmann, K. (2017). Leaching of rare earth elements from fluorescent powder using the tea fungus Kombucha. *Waste Manag* 62, 211-221.
- [4₄] Nguyen, N. K., Dong, N. T., Nguyen, H. T. & Le, P. H. (2015). Lactic acid bacteria: promising supplements for enhancing the biological activities of kombucha. *Springerplus* 4, 91.
- [4₅] Podolich, O., Zaets, I., Kukhareenko, O., Orlovska, I., Reva, O., Khirunenko, L., Sosnin, M., Haidak, A., Shpylova, S., Rabbow, E., Skoryk, M., Kremenskoy, M., Demets, R., Kozyrovska, N. & de Vera, J. P. (2017). Kombucha Multimicrobial Community under Simulated Spaceflight and Martian Conditions. *Astrobiology* 17, 459-469.
- [5] ASPAPEL. *Importancia socioeconómica de la cadena de valor*. 17 de octubre de 2018. <http://www.aspapel.es/content/la-cadena-de-valor-de-la-celulosa-papel-y-carton-supone-el-45-del-pib-y-genera-uno-de-cada-c> (último acceso: 26/01/2019).
- [6] Rolón, Jazmín et al. ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN DE PULPA DE CELULOSA: MÉTODOS KRAFT Y MECÁNICO. *Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional*. http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2016/trabajos/D008_COINI2016.pdf (último acceso: 30/01/2019)
- [7] Spanish Alibaba. Té verde precio. <https://spanish.alibaba.com/g/green-tea-price.html> (último acceso: (30/01/2019)
- [8] Precio Oro. Precio azúcar. <https://www.preciooro.com/precio-azucar.html> (último acceso: 30/01/2019)
- [9] Comisión para la Cooperación Ambiental. Emisiones y transferencias de contaminantes en América del Norte, 2005. Junio 2009. <http://www3.cec.org/islandora/es/item/2382-taking-stock-2005-north-american-pollutant-releases-and-transfers-es.pdf> , diapositiva 34. (último acceso: 30/01/01)

- [10] AMIL, D. G. (2001). La contaminación de la industria de pasta-papel en Galicia: un análisis de flujos de materiales y energías. *Estudios de economía aplicada*, 14.
- [11] S.A, I. S. (2001). Reducción del consumo de agua. *Zaragoza: catálogo aragonés de buenas prácticas ambientales*.
- [12] Liyaskina, V. R. (2017). Ost effective production of bacterial cellulose using acidic food industry by-products. *Brazilian Journal of microbiology*, 5.
- C. Dufresne, E. Farnworth. «Tea, Kombucha, and health: a review.» Editado por Elsevier. *Food Research International* (Food Research International), 2000: 13.
- Fairs, Marcus. *Deezen*. 12 de febrero de 2014.
<https://www.deezen.com/2014/02/12/movie-biocouture-microbes-clothing-wearable-futures/> (último acceso: 27/01/2019).
- Teschke, Kay, y Paul Demers. *INSHT: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*. Pág. 20. 1 de enero de 2001.
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/72.pdf> (último acceso: 26/01/2019).
- LONČAR, E. S. (2014). Kinetics of saccharose fermentation by kombucha. *Association of the Chemical Engineers of Serbia*, 8.
<http://www.doiserbia.nb.rs/ft.aspx?id=1451-93721300016L> (último acceso: 28/01/2019)
- Gaggia, Francesca *et al* (2019). Kombucha Beverage from Green, Black and Rooibos Teas: A Comparative Study Looking at Microbiology, Chemistry and Antioxidant Activity. *Nutrients* 2019. <https://www.mdpi.com/2072-6643/11/1/1> (último acceso: 29/01/2019)

AGRADECIMIENTOS

A D. Javier Fernández-Portal por dirigir el trabajo y al Colegio Retamar.

A Jaime Ríos Arroyo, Jaime Alonso de Velasco, Borja Ríos Arroyo, Álvaro Villarino Bonet y Álvaro Regidor Nestares por colaborar con nosotros en el desarrollo del trabajo.

Queremos dar las gracias al Profesor D. Julio Coll, doctor por el MIT y por la UCM, investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA), por el tiempo que ha dedicado a nosotros y por corregir el borrador de nuestro trabajo.

También nos gustaría agradecer al Profesor D. Javier Llorca por facilitarnos algunos documentos le solicitamos, que nos han ayudado a realizar el trabajo y por sus consejos.

Algunos de los datos de Javier Llorca son:

- Educación:
 - ❖ 1983: Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.
 - ❖ 1986: Doctor Ingeniero de Caminos. Universidad Politécnica de Madrid
- Posiciones anteriores:
 - ❖ 2013-2014: Cátedra Brahm Prakash, Indian Institute of Science, India.
 - ❖ 2012-2015: Profesor Invitado, Shanghai Jiao Tong University, China.
 - ❖ 2007-2017: Director y fundador, Instituto IMDEA Materiales.
 - ❖ 1987-1995: Profesor Titular, Departamento de Ciencia de Materiales, Universidad Politécnica de Madrid.
 - ❖ 1989-1999: Investigador Fulbright, Brown University, USA.
 - ❖ 1984-1987: Profesor Encargado de Curso, Departamento de Ciencia de Materiales, Universidad Politécnica de Madrid
- Premios:
 - ❖ 1986: Premio extraordinario de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid
 - ❖ 1989-1990: Beca Fulbright, Brown University, USA
 - ❖ 1990: Premio al Investigador Joven, Universidad Politécnica de Madrid
 - ❖ 1999: Premio de Investigación de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
 - ❖ 2000: Medalla de Oro de la Sociedad Española de Integridad Estructural
 - ❖ 2009: Premio de Investigación, Universidad Politécnica de Madrid
 - ❖ 2012: Fellow, European Mechanics Society
 - ❖ 2012-2015: Profesor Invitado, Shanghai Jiao Tong University, China
 - ❖ 2013: Miembro de la Academia Europea, sección de Física e Ingeniería
 - ❖ 2013-2014: Cátedra Brahm Prakash Indian Institute, India
 - ❖ 2016-2021: Profesor Invitado, Central South University, China
 - ❖ 2018: Premio a la mejor Carrera Científica, Sociedad Española de Materiales.

