

5.

EL ESTUDIO DEL CRECIMIENTO DE LA LEVADURA *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* Y LAS TECNOLOGÍAS DEL APRENDIZAJE COLABORATIVO COMO UNA EXPERIENCIA DE APRENDIZAJE

*The study of the growth of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* and the
technologies of collaborative learning as a learning experience*

Alba Lizeth González Salazar*

Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Semillero BIOMA's Ciencias Básicas
Colombia, Bogotá D.C

RESUMEN

Los reportes de investigaciones concernientes al crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae*, son una oportunidad de aprendizaje y conocimiento de fenómenos exponenciales. Inicialmente se analiza y comprende el crecimiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* en 4 fases: fase de retraso o adaptación, fase exponencial, fase de latencia y fase de muerte. Además, para establecer un informe de aspectos que se han indagado sobre dicho fenómeno, se procede a la clasificación de las publicaciones de carácter científico en categorías de análisis.

A partir de las categorías de análisis, con la comprensión lograda sobre la fase de crecimiento exponencial y atendiendo a las dificultades que reporta la indagación en educación matemática, concerniente a las dificultades de los estudiantes en el aprendizaje de las funciones exponenciales, se usa el crecimiento de la levadura, como un ejemplo para comprender cómo analizar la variación en los fenómenos.

Como resultado de la investigación, adicional al informe de clasificación de las investigaciones, se crea material audiovisual.

Es un trabajo interdisciplinario en el que se usan los conocimientos adquiridos en la formación de semilleros, relativos a la cuarta revolución industrial y con algunas herramientas como Genially, Padlet, redes sociales académicas, plataforma Teams, software GeoGebra, se procede a crear contenido para un Padlet, un cuaderno interactivo y dos videos. En estos dos últimos se establece desde las matemáticas, cómo usar las diferencias y los cocientes, para recurrir a los conceptos de progresiones y de razón de cambio promedio, como una estrategia para examinar la variación de los datos. Dichos datos son examinados en fenómenos de conteo de crecimiento de microorganismos y así se ilustra cómo identificar unas características propias del crecimiento exponencial.

Palabras clave: levadura *Saccharomyces cerevisiae*, crecimiento exponencial, variación, aprendizaje colaborativo.

RESUME

Research reports concerning the growth of *Saccharomyces cerevisiae* are an opportunity to learn and understand exponential phenomena. Initially, the growth of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* is analyzed and understood in 4 phases: delay or adaptation phase, exponential phase, lag phase and death phase. In addition, to establish a report of aspects that have been inquired about this phenomenon, scientific publications are classified into categories of analysis.

From the categories of analysis, with the understanding achieved on the phase of exponential growth and attending to the difficulties reported by the inquiry in mathematics education, concerning the difficulties of students in learning exponential functions, the growth is used. of yeast, as an example to understand how to analyze the variation in the phenomena. As a result of the investigation, in addition to the investigation classification report, audiovisual material is created.

It is an interdisciplinary work in which the knowledge acquired in the formation of seedbeds is used, related to the fourth industrial revolution and with some tools such as Genially, Padlet, academic social networks, Teams platform, GeoGebra software, we proceed to create content for a Padlet, an interactive notebook and two videos. In these last two, it is established from mathematics, how to use the differences and the quotients, to resort to the concepts of progressions and average rate of change, as a strategy to examine the variation of the data. These data are examined in microorganism growth counting phenomena and thus it is illustrated how to identify some characteristics of exponential growth.

Keywords: *Saccharomyces cerevisiae* yeast, exponential growth, variation, collaborative learning.

INTRODUCCIÓN

Saccharomyces cerevisiae es una levadura que puede dividirse rápidamente en múltiples entornos como lo describe Hartwell (1974), cada célula germina, se regenera y crece hasta el tamaño de la célula original. En concentraciones óptimas de nutrientes se puede observar el crecimiento microbiano en el medio de cultivo; el crecimiento microbiano se divide en 4 fases según Alterthum (2015), la primera es la fase de retraso en la que la actividad enzimática de la célula está activa; la segunda es la fase de crecimiento exponencial en la cual se presenta un período de crecimiento máximo; la tercera es la fase estacionaria en la que hay pocos nutrientes y no se puede mantener el crecimiento; y la última es la fase de muerte en la que la población disminuye por falta de nutrientes en el medio.

Para comprender mejor el crecimiento exponencial, se debe mencionar que es una función, que se puede describir como una función de la forma $f(x)=b^x$, siendo b una constante y x la variable independiente, en esta función la base siempre debe ser positiva y distinta de 1 ($b>0$, $b \neq 1$). La función exponencial tiene dominio $\mathbb{R}$ y rango los reales positivos, con punto de corte (0,1). La base puede tomar alguna de las dos

siguientes opciones, si el valor de la base es mayor que 1 ($b > 1$), las funciones serán crecientes; pero si el valor de la base mayor que cero, pero menor que 1 ($0 < b < 1$), la función será decreciente.

Las características de las funciones exponenciales mencionadas en Vargas (2019), permiten hablar de tres aspectos: estudio del cambio a través de diferencias y cocientes; variación y razón de cambio promedio; vínculo entre la progresión aritmética y geométrica.

MARCO REFERENCIAL

La levadura *Saccharomyces cerevisiae* (*Saccharomyces cerevisiae*) según Hartwell (1974), es un organismo unicelular, que pertenece a la división *Ascomycota*, familia *Saccharomycetaceae* y al orden *Saccharomycetales*; es capaz de dividirse rápidamente en medios ricos en nutrientes, su reproducción es asexual, por medio de la gemación que consiste en un brote que aparece en la superficie del microorganismo parental, posteriormente este brote se desprende y resulta en la formación de dos individuos.

El tiempo necesario para que una célula se convierta en dos células como lo mencionan Pollack et al (2009), se denomina tiempo de generación microbiana, cada generación de células se describe mediante la ecuación $N = N_0 2^n$, donde N es el número total de microorganismos que se generan, N_0 es el número inicial de microorganismos, 2 es el número de células que se producirán en un tiempo de generación establecido y n es el número de generaciones.

En el proceso en el que una célula se convierte en dos células hijas se da el crecimiento microbiano, el crecimiento se divide en 4 fases descritas por Alterthum (2015), la primera es la fase de retraso o fase adaptación, que en condiciones óptimas suele ser la fase más corta; en algunos casos los microorganismos de un cultivo que se encuentran en esta fase tardan algún tiempo en comenzar el crecimiento cuando se inoculan en un nuevo medio, mientras que los

microorganismos que se originan en un cultivo con condiciones óptimas no presentan retraso, continúan creciendo con la misma rapidez que tenían en el medio anterior si este nuevo medio tiene las mismas condiciones.

La fase de retraso es un período de intensa actividad metabólica, la célula está sintetizando proteínas enzimáticas, que se forman bajo la guía del ácido nucleico y son esenciales para la construcción de la membrana celular, que controla la entrada y salida de material en la célula. La producción de proteínas para el funcionamiento celular debe estar en sincronía para que pueda ocurrir la división.

La fase exponencial como la describe Alterthum (2015), es un período de crecimiento máximo. Algunos microorganismos crecen y se reproducen asexualmente por fisión binaria, cada duplicación del número de microorganismos en un cultivo representa una nueva generación; la velocidad de crecimiento depende de una serie de factores como, la temperatura de incubación, la presencia o ausencia de oxígeno (O_2), la presencia de ácidos débiles, el pH y la naturaleza de los microorganismos.

La fase estacionaria según Alterthum (2015), comienza cuando las condiciones del medio de cultivo son alteradas, es decir el medio ya no proporciona las condiciones necesarias para mantener un crecimiento uniforme; los principales factores que son responsables del inicio de esta fase son, limitación de nutrientes y acumulación de metabolitos tóxicos. Cuando aumenta la cantidad de células de un cultivo hay una disminución proporcional en la cantidad de nutrientes, hasta el punto en el que la concentración de nutrientes alcanza un nivel crítico y se detiene el crecimiento.

La fase de muerte es descrita por Alterthum (2015) como, en la que la población disminuye por la falta de nutrientes. La actividad metabólica microbiana utiliza las reservas nutricionales internas como, los metabolitos intermedios y las estructuras propias de los organismos, como fuente de combustible para la actividad respiratoria pero sólo hasta cierto momento, ya que la célula no puede seguir dividiéndose sin nutrientes, aunque sea transferida a un nuevo medio. Cuando el factor limitante del

crecimiento es la acumulación de metabolitos tóxicos, la causa de la muerte celular dependerá de la naturaleza de ese factor.

Aunque se mencionan las 4 fases de crecimiento, esta investigación se centra en la fase de crecimiento exponencial, debido a que la investigación en educación matemática muestra indagaciones que exhiben dificultades de los estudiantes de secundaria y universitarios, en el aprendizaje y la interpretación de los crecimientos exponenciales.

Aunque los estudiantes sean responsables de los aprendizajes realizados, menciona Lezama (2003) que se debe resaltar que las “funciones” son los primeros términos que se presentan en secundaria, pero se considera como uno de los conceptos más difíciles de dominar y enseñar, debido a que los estudiantes presentan dificultades al identificar las diferentes funciones, propiedades, aplicaciones y los fenómenos que los modelan; además, de dificultades al representar estos fenómenos en gráficas, tablas de datos y realizar su respectivo análisis.

La investigación de Lezama (2003, como se citó en Vargas, 2017) sobre la enseñanza de la función exponencial, presenta como resultado que la mayoría de los estudiantes reconocen la naturaleza creciente de la función exponencial, sin embargo, aunque asociaban la función exponencial con un crecimiento, no reconocían el tipo de crecimiento ya que la mayoría de gráficas se representaron con líneas rectas crecientes.

Otras dificultades encontradas en la literatura (Elstak, 2007, como se citó en Vargas, 2019) se presentan al establecer relaciones entre las definiciones de exponentes según el tipo de números, ya sean naturales, enteros, racionales o reales. También los estudiantes presentan dificultad para reconocer el vínculo entre exponentes positivos y negativos; dificultad al emplear el concepto de exponente común, para explicar el concepto del exponente cero; dificultad para comprender la no linealidad de la gráfica exponencial y que no hay un vínculo lineal y aditivo entre los factores y las razones.

Continuando con lo mencionado anteriormente, Díaz (2007, como se citó en Vargas, 2019) también encontró dificultad en los estudiantes para reconocer el significado de potencia con exponente negativo y el significado de los exponentes racionales e irracionales, así mismo se describe el posible desconocimiento del concepto de potencia con base real positiva y exponente irracional.

También menciona Weber (2002a, como se citó en Vargas, 2019) que los estudiantes eran capaces de señalar que la función $f(x) = (\frac{1}{2})^x$ es decreciente, pero no logran justificar el por qué, además los estudiantes entienden la exponenciación únicamente como acción pero no se comprende el proceso. Otro hallazgo similar lo describe Bradie (1998, como se citó en Vargas, 2017) menciona que cuando se está enseñando sobre las funciones exponenciales, se genera problemas al reconocer las funciones, debido a que no se menciona sobre su adaptación a otros contextos (ejemplo crecimiento poblacional, tasa de inversión, vida media de una sustancia radioactiva, entre otros), solo se limita a que los estudiantes sustituyan en la fórmula de función.

Como ya se mencionó es importante que haya una comprensión más allá de la acción de la función exponencial, esto se puede realizar a través de la modelización, entre otros, con el uso de las herramientas tecnológicas. La cuarta revolución industrial ofrece herramientas para el aprendizaje, esta revolución es digital y se caracteriza por la fusión de tecnologías descrita por Echeverría & Martínez (2018), que hace una conexión especial entre las esferas físicas, digitales y biológicas.

En esta era digital se tienen muchas áreas por explorar como mencionan Echeverría & Martínez (2018), a través del aprendizaje como la inteligencia artificial, aprendizaje automático, robótica, nanotecnología, impresión 3D, genética y biotecnología, entre otros., por lo cual la educación y las personas necesitan estar en adaptación continua, y esto a su vez generará un cambio en los retos planteados a nivel individual y colectivo de las personas, con los nuevos retos que propone esta cuarta revolución industrial y la innovación tecnológica; uno de los retos más importantes en la educación es actualizar y mejorar las competencias de las personas, y esto hace que se deba cambiar la forma tradicional de aprendizaje de los estudiantes.

Por lo anteriormente mencionado es que las nuevas tecnologías harán cada vez más delgada la línea entre la educación formal en el aula y el aprendizaje individual como menciona Stanford (2016), un claro ejemplo son los sistemas de aprendizaje colaborativo, que se convertirán en una parte central del proceso de enseñanza en la educación superior, eso no quiere decir que la educación formal desaparecerá, pero la educación en línea se convertirá en parte del aprendizaje en todos los niveles, desde el jardín hasta la universidad, en una experiencia combinada en el aula; y eso a su vez facilitará el uso de enfoques de aprendizaje más personalizables, que hace que los estudiantes puedan aprender a su propio ritmo utilizando técnicas educativas que funcionen mejor para ellos, como textos digitales, videos, formatos de audio, entre otros.

Algunas herramientas para el aprendizaje colaborativo son Padlet, Genially, TEAMS y GeoGebra. Padlet Según García (2019), es una herramienta interactiva que permite crear tableros colaborativos y archivos multimedia como imágenes, videos, audios, entre otros. Donde es importante tener lectura previa para obtener ideas claves para la organización de la información y facilitar su entendimiento; además, esta herramienta tiene la opción de compartir el Padlet permitiendo únicamente su visualización o la posibilidad de editar o añadir información.

Referente a la aplicación Genially (2019), es una plataforma que permite crear ayudas visuales interactivas como, juegos, diapositivas, posters e imágenes; esta herramienta al igual que Padlet puede ser compartida para editar en grupo; al registrarse en Genially la plataforma ofrece cursos y webinars para capacitar constantemente a las personas, además de tener un foro con preguntas frecuentes para facilitar el uso de la herramienta.

Sobre TEAMS (2021), es el área de trabajo en equipo de Microsoft 365 que integra usuarios, contenido y herramientas para mejorar el compromiso y la eficacia. Esta plataforma permite a través del móvil o PC, reunir al equipo, usar el chat para evitar la conexión vía email, editar archivos, realizar grabaciones, hacer menciones en el grupo y respuestas directas, agregar al equipo notas, sitios web y aplicaciones.

GeoGebra (2021) es un software de matemáticas que abarca características de geometría, álgebra, estadística y cálculo en registros gráficos de análisis y organización en hojas de cálculo. Permiten la interactividad; conectando a su vez lo experimental y lo conceptual para tener una experiencia didáctica y disciplinar que cruza matemática, ciencias, ingeniería y tecnología.

DISEÑO METODOLÓGICO

Tipo de investigación

El presente trabajo consiste en un ejercicio de indagación documental descriptiva, de carácter cualitativo. Inicia con una revisión bibliográfica sistemática, de los temas relacionados con el fenómeno de crecimiento exponencial de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Así mismo, se obtiene información concerniente a aspectos relevantes de la cuarta revolución industrial, el aprendizaje colaborativo, y las dificultades en el aprendizaje de las funciones exponenciales.

Población y muestra

La población es documental, por lo cual se hace uso de revistas indexadas, libros, entre otros., y la muestra son documentos que abarquen temas concernientes a procesos de fermentación donde esté involucrada la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, el crecimiento de microorganismos, el aprendizaje colaborativo, las funciones exponenciales y la cuarta revolución industrial en la educación.

Procedimientos

1. Revisión de antecedentes: búsqueda sistemática de información relacionada con el crecimiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, cuarta revolución industrial, el aprendizaje colaborativo y las dificultades en el aprendizaje de las funciones exponenciales, en libros, revistas indexadas, trabajos de grado, páginas web e informes.

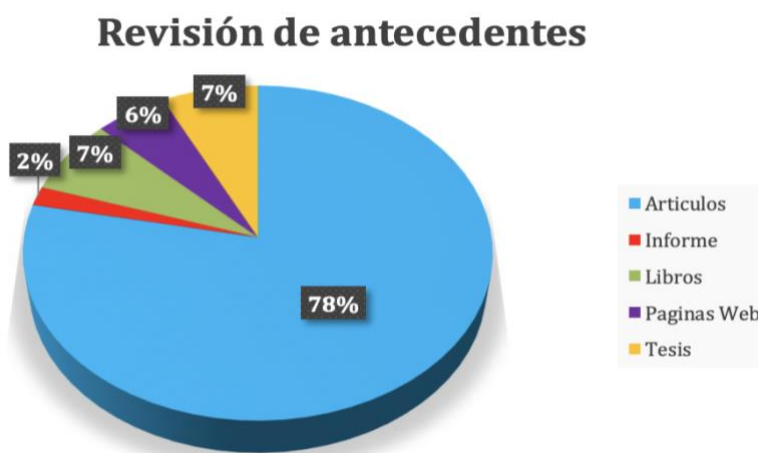
2. Selección y clasificación del material bibliográfico: con la información obtenida se crearon las categorías de análisis, estas a su vez permitieron ordenar el trabajo.
3. Establecer aportes: se genera un modelo teórico con las herramientas TAC del crecimiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. A través de este modelo se quiere facilitar la comprensión de fenómenos de crecimiento y función exponencial; además, se explican conceptos como variables, variación geométrica y aritmética, cociente, diferencias y razón de cambio promedio.

RESULTADOS

1. Referente a la búsqueda de información

Como primer resultado de la investigación realizada, se presenta la clasificación de la información que fue un paso clave en la creación del marco teórico, sobre información concerniente a el crecimiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, el aprendizaje colaborativo, cuarta revolución industrial y las dificultades en el aprendizaje de las funciones exponenciales.

Figura 1. Búsqueda de información sistemática



Se revisaron 60 documentos, de los cuales el 78% corresponde a bases de datos digitales (ELSEVIER, Fem Yeast Research, Apertura, Dialnet, SciELO, Redalyc y Researchgate), el 2% a informes, y el 7% a tesis, lo mencionado anteriormente

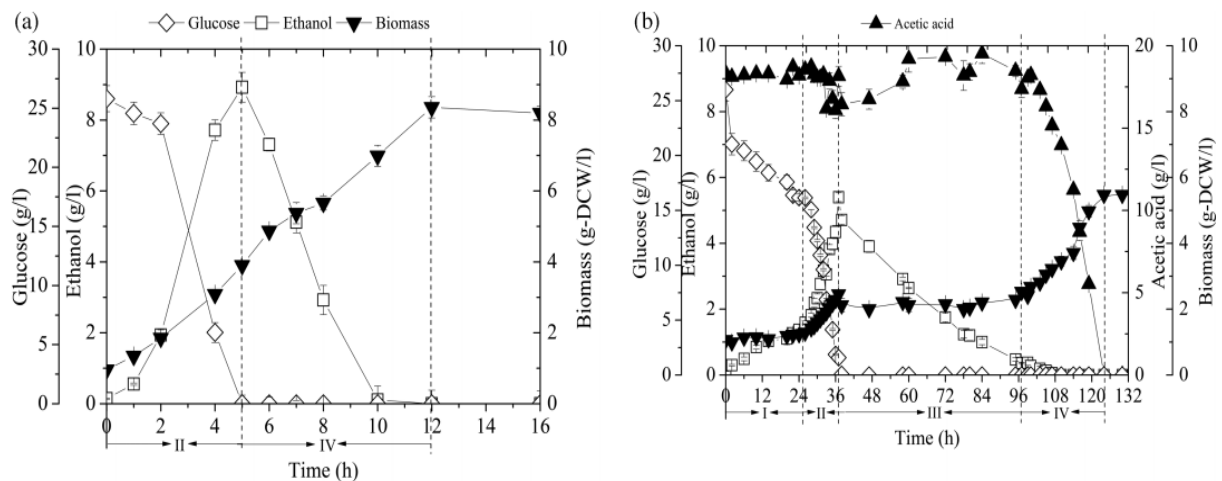
corresponde a información sobre el crecimiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

Sobre la búsqueda de libros corresponde al 7% del total de documentos revisados, estos libros abarcan temas sobre el crecimiento de microorganismos y función exponencial. Además, se hizo uso de información de páginas web que corresponde al 6% del total de documentos revisados, estas páginas ayudaron con la descripción de herramientas como Genially, Padlet, GeoGebra y TEAMS.

2. Referente a el crecimiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* en procesos de fermentación

En segundo lugar, se presenta una figura extraída de un artículo científico de la revista FEM Yeast Research, en la que se describe el crecimiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* en condiciones óptimas y en presencia de ácido acético.

Figura 2. Comparación de etanol, producción de biomasa y consumo de azúcar de *Saccharomyces cerevisiae*, de Guo & Olsson (2016)



Inicialmente se agregó a ambos medios de cultivos 1 gramo de células secas por Litro a un medio que contenía 25 g/L de glucosa a pH 5.0; la figura 2.a representa el medio control y la figura 2.b tuvo adicionalmente 17g/L de ácido acético. El cultivo se dividió en 4 etapas del crecimiento y a su vez, en 2 fases: I y III fase de retraso, II y IV fase de crecimiento.

En primera instancia se observó que *Saccharomyces cerevisiae* mostró diferencias en su forma de crecimiento en el medio con ácido acético en comparación con el control (sin ácido acético). En el cultivo control (figura 2.a) hay una corta fase de retraso, posteriormente la levadura creció usando a la glucosa como fuente de carbono y produjo etanol, cuando se agotó la glucosa utilizó al etanol como fuente de carbono para continuar creciendo. En la levadura expuesta a ácido acético (figura 2.b) presentó dos fases de retraso, en la primera tuvo un retraso de 36 horas (I) en presencia de glucosa y la más prolongada fue de 60 horas (III) en presencia de etanol, que se atribuyen a la presencia de ácido acético debido a que el crecimiento disminuye en presencia de este ácido.

3. Referente a las herramientas TAC y el crecimiento

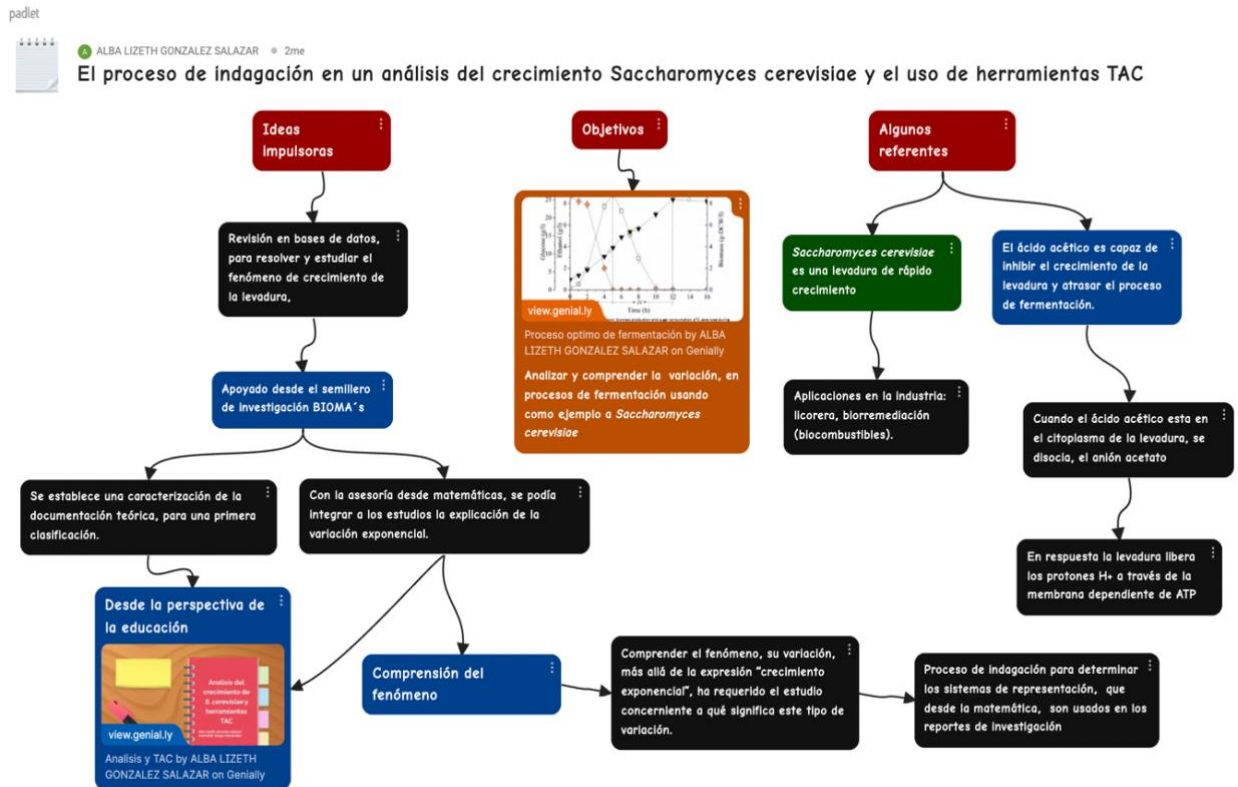
Los fenómenos de crecimiento exponencial se pueden estudiar a través del análisis del comportamiento de cada una de las variables: la variable independiente se caracteriza por establecer la razón aritmética entre sus términos, la variable dependiente identifica una razón geométrica si se comparan los términos a través de cocientes; y otra forma de analizar estos fenómenos es a través de la razón de cambio promedio, que en la función lineal es constante mientras que en la función exponencial es variable.

En síntesis, en cuanto a una forma de abordar el estudio de crecimientos exponenciales los logros se traducen en la creación de diálogos, situaciones, representación gráfica y explicaciones a partir de:

- a. Establecer la estrategia de examinar el cambio a través de diferencias y cocientes.
- b. Retomar de las indagaciones, la caracterización de las funciones exponenciales a través de su variación, específicamente atendiendo a la razón de cambio promedio.
- c. Utilizar el vínculo entre progresiones aritméticas y geométricas.

En el curso de esta indagación y con los tres aspectos arriba mencionados se elaboró material audiovisual: uso de Excel, TEAMS, redes sociales académicas, Padlet, Genially, bases de datos y otras herramientas

Figura 3. Padlet presentado en el video “El proceso de indagación en un análisis del crecimiento *Saccharomyces cerevisiae*”



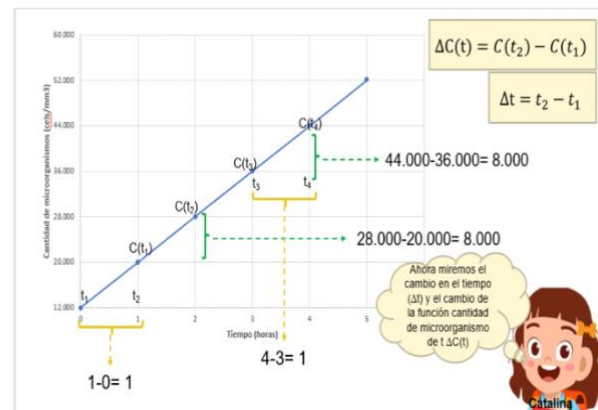
Como primer trabajo con herramientas TAC se presentó una conferencia grabada en el video titulado “El proceso de indagación en un Análisis del crecimiento *Saccharomyces cerevisiae*”, en red social académica, bajo el link de: https://youtu.be/LLORJ_Lg6Qc, en colaboración en el semillero de investigación BIOMA's, en la cual se realizó una revisión en bases de datos para estudiar el fenómeno de crecimiento con asesoría en matemáticas para integrar la explicación de la variación exponencial. El objetivo de este video era explicar los primeros pasos en la indagación que busca comprender la variación en procesos de fermentación usando como ejemplo a *Saccharomyces cerevisiae*. En la presentación se recurrió a utilizar Padlet y Genially.

Figura 4. Interdisciplinariedad “Cuaderno de funciones”

Cámara de Neubauer



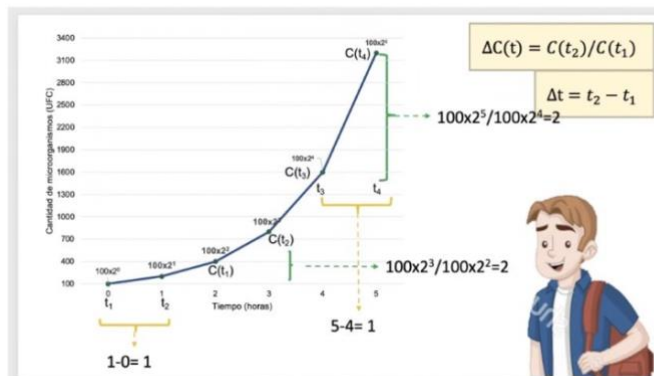
Cuaderno de funciones



Se elaboró un video titulado “Cuaderno de funciones (I parte)” que está alojado en la red social YouTube, bajo el link: <https://youtu.be/NHNL0OU8CoU>, en el cual se utilizaron herramienta como GeoGebra y Excel para realizar la representación gráfica del modelo teórico y se utilizó TEAMS para grabarlo. Este video fusiona varias estrategias, por un lado está la información referente a Bacteriología y Laboratorio Clínico, por ejemplo en el video está la explicación de una herramienta como lo es la cámara de Neubauer que permite hacer el conteo de células. Referente a las matemáticas se muestra una función lineal con crecimiento constante y servirá para comparar con el crecimiento exponencial; esta figura permitió realizar el análisis del cambio de cada una de las variables de la función lineal que corresponden a una razón aritmética.

Figura 5. Análisis del crecimiento exponencial

Cuaderno de funciones



Genially



También se realizó el análisis de un crecimiento exponencial donde se retoma el análisis del cambio de cada una de las variables, su variable independiente tiene cambio aritmético y la dependiente cambio geométrico; además, está el uso de la herramienta Genially donde está el primer análisis realizado al crecimiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* con ayuda de las herramientas TAC bajo el link "<https://view.genial.ly/5f6d5b549e41467dc38ffd9a/guide-analisis-y-tac>", el cuadernillo en Genially se realizó porque se quiso hacer una síntesis que sea útil para los estudiantes y docentes de bacteriología que están relacionados con estas temáticas. Referente al Padlet que se observa en el cuadernillo, en este se hace la descripción del crecimiento exponencial y se usan algunas gráficas interactivas para facilitar su comprensión.

CONCLUSIONES

El rastreo de información sobre el crecimiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* y el aprendizaje, permitió la creación de material interactivo referente al crecimiento exponencial, que ayudará a mejorar la comprensión de los procesos de análisis de los fenómenos que se describen exponencialmente.

Esta investigación es un ejemplo de trabajo interdisciplinario, al integrar estudios sobre crecimiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, técnicas de recuento como la cámara de Neubauer y método de conteo de unidades formadoras de

colonias, análisis de fenómenos para la enseñanza de conceptos matemáticos, con estrategias y conceptos vinculados al uso de tecnologías del aprendizaje colaborativo.

Se potenció la comprensión de fenómenos de crecimiento y se centró en diferenciar a los crecimientos lineales rápidos de los crecimientos exponenciales, usando recursos como el cambio geométrico, el cambio aritmético y el análisis de la variación mediante la razón de cambio promedio, recurriendo a herramientas de la Tecnología del Aprendizaje y el Conocimiento.

Se determinó que las características de una fase del crecimiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* con una tasa de crecimiento, razón de cambio promedio variable; el cambio geométrico que se presenta en la variable dependiente y el cambio aritmético que se presenta en la variable independiente, permiten modelar segmentos de este fenómeno como un crecimiento exponencial.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la doctora Jeannette Vargas Hernández, por compartir sus conocimientos, su paciencia y su comprensión; al semillero de investigación BIOMA's por brindarme apoyo e información para realizar diferentes proyectos de indagación y a la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca - Facultad de Ciencias de la Salud por el apoyo brindado.

REFERENCIAS

- Alterthum, A. (2015). Microbiología. Sexta Ed. Brasil: Atheneu.
- Echeverría, B. y Martínez, P. (2018). Revolución 4.0, Competencias, Educación y Orientación. RIDU, (2): 4-34.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/ridu/v12n2/a02v12n2.pdf>
- García, G. (2019). PADLET como aula virtual. *Observatorio de tecnología educativa*, (24). Recuperado de: <https://intef.es/wpcontent/uploads/2019/10/Padlet-2.pdf>

- Genially. (2019). *La comunicación visual interactiva*. Descubre por que Genially es tan eficaz para comunicar. Genially. Disponible en: <https://genial.ly/es/por-que-genially/>
- GeoGebra. (2021). *¿Qué es GeoGebra?*. GeoGebra. Disponible en: <https://www.geogebra.org/about?lang=es>
- González, A. Vargas, J. [lizeth gonzalez] (2021). Cuaderno de funciones (I parte) [Video en internet]. Youtube. <https://youtu.be/NHNL0OU8CoU>
- González, A. Vargas, J. [lizeth gonzalez] (2020). El proceso de indagación en un Análisis del crecimiento *Saccharomyces cerevisiae* [Video en internet]. YouTube. https://youtu.be/LLORJ_Lg6Qc
- González, A. Vargas J. (2020). *El proceso de indagación en un análisis del crecimiento Saccharomyces cerevisiae y el uso de herramientas TAC*. Padlet. <https://es.padlet.com/lizethjp05/5oziwfwh906gmqgb>
- González, A; Vargas J. (2020). *Análisis del crecimiento de Saccharomyces cerevisiae. El aula convencional al aula virtual*. Genially. <https://view.genial.ly/5f6d5b549e41467dc38ffd9a/guide-analisis-y-tac>
- Guo, Z. P., & Olsson, L. (2016). Physiological responses to acid stress by *Saccharomyces cerevisiae* when applying high initial cell density. *FEMS yeast research*, 16(7). <https://doi.org/10.1093/femsyr/fow072>
- Hartwell, H. (1974). *Saccharomyces cerevisiae* cell cycle. *Bacteriological reviews*, 38(2), 164–198. <https://doi.org/10.1128/br.38.2.164-198.1974>
- Lezama F. (2003). *Un estudio de reproducibilidad de situaciones didácticas* [Doctorado]. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.
- Pollack, A. Findlay, L. Mondschein, W. y Modesto, R. (2009). *LABORATORY EXERCISES IN MICROBIOLOGY, THIRD EDITION*. Tercera Ed. Unites States: John Wiley & Sons.
- Stanford University. (2016). *ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND LIFE IN 2030 Stanford University*. https://ai100.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj9861/f/ai100report10032016fnl_singles.pdf

- TEAMS. (2021). *Vídeo de aprendizaje de Microsoft Teams*. Soporte de Office. Disponible en: <https://support.microsoft.com/eses/office/v%C3%ADdeo-qu%C3%A9-es-microsoft-teams-422bf3aa-9ae8-46f1-83a2-e65720e1a34d>
- Vargas, J. (2017). Análisis de la práctica de los docentes universitarios de precálculo: Estudios de casos en la enseñanza de las funciones exponenciales. Ediciones Universidad de Salamanca.
- Vargas, J. (2019). Enseñanza de la función exponencial: investigación y práctica en el aula de la básica al precálculo en la Universidad. Bogotá, Colombia: Sello Editorial Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.