



CAPÍTULO III

Revisión Bibliográfica

3.1 La Biotecnología

3.1.1 Historia

La biotecnología ha sido utilizada por el hombre desde los comienzos de la historia en actividades tales como la preparación del pan y de bebidas alcohólicas o el mejoramiento de cultivos y de animales domésticos. Procesos como la producción de cerveza, vino y queso implican el uso de bacterias o levaduras con el fin de convertir un producto natural como la leche, en un producto de fermentación como el yogurt.

Los orígenes de la biotecnología se remontan a los inicios de la historia de la humanidad. Nuestros ancestros primitivos iniciaron, hace miles de años durante la Edad de Piedra, la práctica de utilizar organismos vivos y sus productos. Hoy en día existen muchas y muy variadas formas de definir la biotecnología (García, 2005).

Desde la antigüedad tanto en las culturas de Oriente como en Occidente los microorganismos han sido utilizados para transformar o producir alimentos y de esta forma han sido siempre parte de la dieta del hombre y los animales. La fermentación ha sido realizada como un arte durante muchos siglos: la elaboración del vino se cree que se practicaba ya al menos 10.000 a.C. mientras que los historiadores creen que los egipcios producían cerveza en los años 5.000-6000 a.C. dejando germinar la cebada en vasijas de barro y después estrujándola, amasándola, y finalmente remojándola con agua para obtener la bebida. Hacia el año 4.000 a.C. los egipcios utilizaron las levaduras de la cerveza para la producción de dióxido de carbono para el aumento de volumen de la masa del pan. El vinagre probablemente se conociera desde el momento en que se obtuvo vino. Las primeras referencias para destilar alcohol para bebidas datan del año 10.000 a.C. en China (BioCity, 2004).



La producción de alimentos y bebidas modificadas mediante procesos de fermentación es operativa desde aproximadamente 10.000 años antes de que se reconociera la existencia de los microorganismos, es evidente que estas tecnologías tradicionales han ido mejorando gradualmente. El examen microscópico de los sedimentos de las urnas de cerveza excavadas que datan del 3.400 al 1.440 a.C. demuestra claramente que la mayoría de las veces contienen levaduras, observándose también que en los sedimentos más recientes su pureza es mayor (BioCity, 2004).

3.1.2 Definición

“Toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos, para usos específicos” es como el Convenio sobre la Diversidad Biológica de las Naciones Unidas definió en 1992 a la Biotecnología Moderna. En términos generales biotecnología se puede definir como el uso de organismos vivos o de compuestos obtenidos de organismos vivos para obtener productos de valor para el hombre (Jaimez, 1996).

La biotecnología moderna está compuesta por una variedad de técnicas derivadas de la investigación en biología celular y molecular, las cuales pueden ser utilizadas en cualquier industria que utilice microorganismos o células vegetales o animales. Es la aplicación comercial de organismos vivos o sus productos, la cual involucra la manipulación deliberada de sus moléculas de DNA.

Por tanto, podemos decir que la biotecnología abarca desde la biotecnología tradicional muy conocidas y establecidas, y por tanto utilizadas, como por ejemplo la fermentación de alimentos, hasta la biotecnología moderna, basada en la utilización de las nuevas técnicas del DNA recombinante (ingeniería genética), los anticuerpos monoclonales y los nuevos métodos de cultivo de células y tejidos (BioCity, 2004).

3.1.3 Importancia de la Biotecnología

Existe una estrecha relación entre el bienestar humano, la estabilidad social y los procesos naturales de la tierra que sustentan la vida. La capacidad de la tierra de continuar suministrando



aire y agua puros, suelos productivos y una rica diversidad de vida vegetal y animal es fundamental para nuestra calidad de vida (Cabrera, et al., 1997).

Sin embargo, el actual crecimiento de la población está sobreexplotando los recursos de la Tierra. En el futuro, la población del mundo casi se va a duplicar para llegar a cerca de los 10 mil millones de habitantes en el año 2030. Por lo anterior debemos responder a las crecientes presiones que se ejercen sobre los recursos naturales de la tierra para alimentar a una población en constante expansión (CONICYT, 2004).

La biotecnología constituye una pieza importante para resolver el desarrollo sostenible. Las innovaciones de la biotecnología van a incrementar el rendimiento de las cosechas sin requerir tierras de cultivo adicionales, salvando bosques naturales y el hábitat de los animales. Otras innovaciones pueden reducir o eliminar la dependencia en agroquímicos que pueden contribuir a la degradación del medio ambiente y otras preservarán el suelo y los recursos hídricos (García, 2004).

La Biotecnología tiene múltiples aplicaciones: Agricultura, Medicina, Alimentos, Minería, Silvicultura, Ganadería, Medio Ambiente y todos los sectores productivos que extraen y procesan recursos naturales. En los últimos años ha ayudado a mejorar la calidad de vida de la población de manera directa, a través de fármacos y herramientas de diagnóstico por ejemplo, e indirectamente, incrementando la producción y calidad de materias primas, como minerales, frutas o madera (CONICYT, 2004).

3.1.4 La Biotecnología Aplicada a la Industria Alimenticia

Algunos microorganismos son capaces de transformar ciertas sustancias en productos para el hombre como el pan, yogurt y bebidas alcohólicas.

Dichas transformaciones son oxidaciones incompletas del sustrato inicial en ausencia de oxígeno, y son convertidos en moléculas orgánicas más sencillas, son las fermentaciones. Sin embargo, la mayor parte de los procesos a nivel industrial son aerobios, aunque reciban la denominación de fermentaciones.



Las fermentaciones industriales tienen lugar en depósitos o tanques de gran tamaño, denominados fermentadores, en los que se encuentra el medio de cultivo con los microorganismos. Disponen de un eje con paletas para mezclar los nutrientes y el oxígeno con los microorganismos.

También poseen conductos que aportan los nutrientes y salidas para la expulsión de gases residuales y para la extracción del producto final. También hay un sistema de refrigeración, otro de calentamiento, y de control de pH. Para hacer las fermentaciones, se utilizan levaduras y bacterias y sólo unas pocas especies tienen interés industrial.

3.2 Obtención de Proteína Unicelular

El hombre ha utilizado a los propios microorganismos como levaduras, hongos, microalgas y cianobacterias como alimento por su alto contenido en nutrientes (glúcidos, proteínas, vitaminas, minerales) que se utilizan tanto en alimentación humana como de animales. De lo anterior se deriva el hecho de llevar a cabo su producción a mayor escala, es decir, producción de biomasa. Ésta tecnología fue ideada en Alemania durante la 1ª Guerra Mundial para obtener proteínas para consumo humano, dada la enorme escasez de alimentos. A este producto alimenticio de origen microbiano se le denominó proteína microbiana o unicelular (S.C.P. o Single Cellular Protein) y se obtuvo de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

Después de la 1ª guerra mundial el interés de Alemania con respecto de la producción de microorganismos se desvaneció, pero fue reavivado a mitad de los años treinta, y durante la segunda guerra mundial se produjeron aproximadamente 15.000 toneladas al año de levadura que se incorporaron en la dieta de civiles y del ejército, principalmente en sopas y salchichas. El interés en producir levadura para piensos se desarrolló en Estados Unidos y Gran Bretaña y continuó después de terminar la segunda guerra mundial en forma poco metódica hasta que se produjo un rápido interés en todo el mundo en mitad de los años cincuenta (BioCity, 2004).

La primera conferencia sobre SCP (proteína unicelular es el término aceptado para el material celular microbiano preparado para uso como alimentos o pienso) se llevó a cabo en 1967 en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) cuando la mayor parte de proyectos estaban



todavía a nivel experimental solamente British Petroleum BP presentó resultados de fermentaciones de SCP a nivel industrial. En la segunda conferencia en el MIT en 1973 muchas compañías en diferentes países habían comenzado la producción a gran escala y fueron capaces de demostrar su capacidad técnica (BioCity, 2004).

Dependiendo de su origen, las proteínas unicelulares son ricas en proteína y vitaminas. Son altamente termoestables, se pueden producir a partir de desechos agroindustriales y se pueden cultivar en sistemas continuos en pequeñas instalaciones y en periodos muy cortos debido a su breve tiempo de generación, además de que se puede controlar su composición según el medio de cultivo y por manejo (Martínez, et al., 2001). Entre las proteínas unicelulares utilizadas se encuentran levaduras, bacterias, hongos filamentosos y microalgas. Su uso en alimentación animal está limitado por su alto contenido de ácidos nucleicos y de material indigerible, deficiencia de aminoácidos sulfurados y la posible presencia de contaminantes derivados del medio de cultivo; adicionalmente, su costo de producción puede limitar su competencia con proteínas convencionales (Murray y Marchant, 1986).

3.2.1 Importancia de la Producción de SCP

La SCP podía ser una alternativa válida a algunas de las fuentes tradicionales de alimento, reduciendo así el flujo de soja, harinas de pescado y cereales para la alimentación animal. El uso de SCP podía hacer estos productos más accesibles para consumo humano. La producción a gran escala de SCP haría la producción animal más independiente de proteínas importadas (BioCity, 2004).

3.2.2 El Proceso de Producción

El proceso requiere de la provisión de una fuente de carbono, que generalmente demanda alguna combinación de tratamiento físico o químico de las materias primas, es decir, de la preparación de un medio adecuado que contenga fuente de carbono y fuentes de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes esenciales. El pH en las fermentaciones se mantiene entre 3.5 y 5.0 ya que esto reduce el riesgo de contaminación bacteriana. Después se debe impedir la contaminación del medio o de la planta y preparar el cultivo de los microorganismos deseados. Finalmente se lleva a cabo la separación de la biomasa microbiana del medio agotado. Las células de levadura pueden ser



recuperadas fácilmente a partir del medio agotado por centrifugación continua y el tratamiento posterior de la biomasa puede efectuarse con o sin operaciones de purificación (BioCity, 2004).

3.2.3 Crecimiento Microbiano

Se entiende por crecimiento microbiano el aumento del número de microorganismos a lo largo del tiempo. Por tanto, se refiere al crecimiento de un único microorganismo, sino al demográfico de una población. El estudio sirve para entender el crecimiento de levaduras y de otros hongos. Un ciclo celular es el proceso de desarrollo de una levadura aislada. A lo largo del ciclo celular tiene lugar la replicación del material genético, la síntesis de componentes celulares, la elongación del microorganismo para alcanzar un tamaño doble del inicial y su división para dar lugar a dos células hijas. La duración del ciclo celular coincide con el tiempo de generación y depende, en general, de los mismos factores de los que depende este. El crecimiento de una población resulta de la suma de los ciclos celulares de todos los individuos de dicha población. Los cultivos de microorganismos son asincrónicos puesto que en ellos cada microorganismo se encuentra en un punto diferente del ciclo celular. Por consiguiente, en un momento determinado en un cultivo se encuentran células que acaban de dividirse, otras que están replicando su ADN, otras que están creciendo, otras que están iniciando la división celular, entre otros.

En un cultivo sincrónico todas las células se encuentran simultáneamente en la misma fase del crecimiento celular. Los cultivos sincrónicos son muy difíciles de mantener por lo que su importancia está principalmente ligada a los estudios básicos de biología microbiana. Sin embargo, en la naturaleza, las levaduras del suelo se encuentran en condiciones de crecimiento próximas a la fase estacionaria (en la que se produce una cierta sincronización del cultivo) y, por consiguiente, durante cierto tiempo las poblaciones naturales probablemente se comporten como relativamente sincrónicas. Las poblaciones crecen de forma explosiva acumulando grandes números en un periodo de tiempo muy reducido. Puesto que el efecto de los microorganismos es en la mayoría de los casos depende de su número, entender cómo se produce el crecimiento microbiano es importante para poder evitar o reducir sus efectos nocivos y potenciar los beneficiosos o aplicados. (UNAVARRA, 1995).



3.2.4 Cultivo de Microorganismos

El cultivo de microorganismos consiste en proporcionarles las condiciones físicas, químicas y nutritivas adecuadas para que puedan multiplicarse de forma controlada. En general, podemos distinguir cultivos líquidos y sólidos en función de las características del medio y cultivos discontinuos y continuos en función de la disponibilidad de nutrientes en el medio.

3.2.4.1 Medida de masa celular

La medida de la masa celular se realiza mediante métodos directos o indirectos. En los primeros se requieren preparaciones limpias, sin partículas extrañas y se pueden realizar por:

- 1) Determinación del peso húmedo, en la cual se tara un tubo de centrífuga; se centrifuga el cultivo y se elimina el sobrenadante; se determina el peso del sedimento.
- 2) Determinación del peso seco, similar al anterior, pero el sedimento se seca antes de ser pesado (105°C, toda la noche), hasta peso constante. Las medidas de peso seco suelen representar el 10-15% de los valores de peso húmedo.
- 3) Determinación del nitrógeno total, mediante la técnica Kjeldahl.
- 4) Determinación de un componente característico como peptidoglucano, ADN, ARN, proteínas, ATP, clorofilas en organismos fotosintéticos, etc.

Los siguientes métodos para medir la masa celular son los indirectos y se pueden clasificar en los siguientes:

- 1) Medida de consumo de nutrientes o de producción de algún metabolito por unidad de tiempo como consumo de oxígeno (QO_2) determinado por el respirómetro de Warburg. Producción de ácidos.
- 2) Métodos turbidimétricos (ópticos), que son muy usados en la práctica cotidiana del laboratorio. La base común de estos métodos consiste en la medición de la cantidad de luz dispersada o transmitida a través de un cultivo. Las suspensiones dispersan la luz, al igual que cualquier



partícula pequeña suspendida en agua (efecto Tyndall). La dispersión de la luz es, dentro de ciertos límites, proporcional a la masa del cultivo (UNAVARRA, 2006).

3.2.4.2 Medida del número de individuos

Al igual que para cuantificar la masa, la cuantificación del número de individuos se realiza por métodos directos o indirectos. Los métodos directos son los siguientes:

1) Cámara de recuento de Petroff-Hauser: Consiste en un portaobjetos especial con una graduación en superficie y se cuentan directamente las células observadas.

2) Contadores electrónicos de partículas: Se hace pasar una suspensión microbiana por un tubo capilar, entre los dos polos de una corriente eléctrica. Cada vez que por un orificio (30 μm diámetro) pasa una partícula se interrumpe la corriente, lo cual es recogido por un dispositivo de registro electrónico, que detecta el número y el tamaño de las partículas que van pasando. (El tamaño detectado es función de la intensidad del pulso de voltaje al paso de la partícula) (UNAVARRA, 2006).

Los dos métodos indirectos más utilizados son:

1) Recuento de viables en placa: Los métodos de recuento de número de células hasta ahora (los directos) no distinguen entre células vivas y muertas. En muchos casos conviene contar las células vivas, y esto en laboratorio se suele hacer mediante el recuento de viables. (Una célula se define como viable cuando, colocada en un medio adecuado, es capaz de dividirse y dar descendencia). El método habitual de lograr esto es sembrar pequeñas alícuotas de diluciones adecuadas de un cultivo original sobre placas de Petri con medio sólido (como agar). Cada célula viable dará origen a una colonia visible después del tiempo adecuado de incubación. Contando las colonias visibles, teniendo en cuenta la dilución de la que proceden y el volumen de alícuota utilizado, es fácil deducir el número de células viables en la suspensión original. No se puede garantizar que cada colonia no proceda de más de un individuo, el recuento se refiere no a “células viables reales” sino a “unidades formadoras de colonia” (UFC). Por lo tanto, una UFC corresponde, como mínimo, a una levadura, pero sobre todo a agrupaciones, la medida por siembra en placa infravalora el número real de individuos, porque cada UFC puede corresponder a dos o más individuos que estaban juntos al ser sembrados en la placa.



2) Recuento sobre filtros: Se usa para suspensiones diluidas. Se hace pasar un gran volumen de suspensión a través de una membrana de nitrocelulosa o de nylon estériles (con un diámetro de poro que retiene las células pero permite el tránsito de sustancias). Posteriormente, el filtro se deposita sobre la superficie de un medio de cultivo sólido. Las colonias se forman sobre el filtro a partir de las células retenidas. Dichas colonias se cuentan, deduciéndose la concentración original de viables en función del volumen de suspensión que se hizo pasar por el filtro (Madigan et al., 1999).

3.3 El Microorganismo

3.3.1 Las Levaduras

Levadura es el nombre genérico dado a un grupo de hongos Ascomycetes pertenecientes al orden Endomycetales, es decir, son microhongos que se encuentran generalmente en forma de células únicas y que se reproducen mediante gemación (Vinculando, 2006). Algunas levaduras están formadas únicamente por células individuales y a veces cadenas cortas, mientras que otras se encuentran con un cierto rango de formas celulares, incluyendo diversos tipos de filamentos. Una característica de la población en crecimiento de las células de levaduras es la presencia de yemas, producidas cuando la célula se divide. La célula hija comienza siendo una pequeña yema, que va creciendo hasta que alcanza un tamaño similar al de la madre y entonces se separa.

La membrana celular consta de polisacáridos y muy poca quitina. Tienen glucógeno como sustancia de reserva y contienen también numerosas vitaminas. Provocan la fermentación de las masas de harina y de los líquidos azucarados, y muchas de ellas se utilizan para obtener bebidas y elaborar pan y otros productos.

La levadura es un anaerobio facultativo: transformando azúcar a la misma velocidad, la levadura aeróbica produce dióxido de carbono, agua y una producción relativamente alta de nueva levadura, mientras que la levadura crecida anaeróbicamente tiene una velocidad relativamente lenta de crecimiento, que se acopla a una alta conversión de azúcar en alcohol y dióxido de carbono (BioCity, 2004).



3.3.1.1 *Candida utilis*

Los microorganismos del género *Candida* son un grupo de levaduras sumamente ubicuas y con características muy diversas. Este género abarca más de 160 especies, de las cuales se considera que sólo 18 son patógenas, como fue determinado por un estudio de aislamientos a partir de pacientes clínicos (López et al., 2005).

Dichos microorganismos son ricos en proteína y vitaminas del complejo B. Se usan en alimentación como un suplemento para compensar deficiencias de aminoácidos y vitaminas de los cereales. Son un producto apropiado para la alimentación animal, por su facilidad de producirse a partir de una gran variedad de sustratos ricos en carbono, incluyendo pulpa de cítricos, melazas, desechos de la industria papelera, madera y desperdicios de frutas (*Candida utilis*), e inclusive hidrocarburos (*Candida lipolytica*). Su calidad nutricional varía según su origen considerándose que las cultivadas en alcanos podrían ser de mejor calidad que las producidas a partir de carbohidratos. Adicionalmente, es factible utilizar en la alimentación animal a los subproductos de la industria cervecera y licorera (*Saccharomyces cerevisiae*) (Göhl, 1991).

Cándida utilis es una levadura que tiene una alta tasa de crecimiento, que ninguna especie ha logrado superar, y que requiere de un sustrato rico en azúcares o fuentes de carbono, para su crecimiento o cultivo (Lucca et al., 1995). Se ha demostrado que la inclusión de *Candida tropicalis*, *C. utilis* y *C. lipolytica* en dietas da lugar a mejores resultados a los obtenidos con soya, harina de carne y harina de sangre, con conversiones alimenticias adecuadas y buena digestibilidad (Vinculando, 2005). En el estudio de Zamora (1996) se realizaron ensayos con *Candida utilis* en extractos ácidos de paja de arroz, en donde se produjeron 3.5 g de biomasa seca/litro de medio.

3.4 Los Sustratos

Los sustratos para el proceso pueden ser fuentes de carbono, sean fuentes fósiles o fuentes renovables. Éstas últimas tienen dos aspectos principales importantes:

1. El uso de carbohidratos de alto grado de producción de alimentos o piensos y



2. El uso de materiales de desecho, cuando la producción de SCP se convierte en una herramienta de control de la contaminación.

Por razones económicas la glucosa o la sacarosa puras rara vez son utilizadas como única fuente de carbono excepto en los procesos que exigen el control exacto de la fermentación. El extracto de malta es excelente para levaduras ya que contiene alrededor de un noventa por ciento de carbohidratos. Los líquidos sulfíticos de papeleras, es decir, productos residuales que contienen azúcar de la industria del papel, son muy utilizados para el cultivo de levaduras por su alto contenido en azúcares, sobretodo hexosas. El metanol es el sustrato de fermentación más barato, las levaduras son microorganismos capaces de metabolizarlo. Los alcanos con una longitud de cadena de 12 a 18 átomos de carbono se usan como alternativa a los carbohidratos dependiendo del precio del petróleo. La celulosa está siendo extensamente estudiada como sustrato de fermentación, la mayor parte de ella existe como residuos: paja, desechos de madera, turba, residuos de papel, etc., y no es posible utilizarla directamente como fuente de carbono, primero debe ser hidrolizada química o enzimáticamente. El desecho de café podría ser metabolizado como materia orgánica y producir proteína unicelular de alto valor similar a la de origen vegetal mediante procesos fermentativos (BioCity, 2004).

3.4.1 El Café, Producción e Industrialización

El proceso de producción de café comienza con el cultivo del cafeto, el cual se realiza primero, remojando semillas previamente seleccionadas hasta que se hinchan un poco y empiezan a germinar, luego se depositan en planchones de arena donde se mantienen húmedas y protegidas de los rayos del sol. Aproximadamente dos meses después, las plantas se depositan en bolsas con tierra debidamente preparadas y abonadas a las que en conjunto se llama almácigo. Pueden permanecer en esas bolsas sólo por algunos meses, transcurridos los cuales se depositarán en un lugar definitivo, para luego seguir con su cosecha una vez maduro. Una vez que se ha efectuado el corte del café, con una madurez homogénea, se procede a separar los granos defectuosos de los “buenos”. Posteriormente se efectúa el beneficiado húmedo (Vinculando, 2006).



3.4.1.1 Beneficiado húmedo

El beneficiado húmedo consiste en el proceso físico por medio del cual el grano es liberado de la cáscara y pulpa que lo cubren. Esta práctica consiste en friccionar el fruto entre dos discos de metal para separar la cáscara y pulpa del grano (véase figura 4), usando agua para facilitar la tarea. Resultado del beneficiado húmedo es el café pergamino, nombre que se le da por la película o mucílago que todavía lo envuelve y que no es soluble en agua, por lo que debe fermentarse en tanques de agua. Esta fase es muy delicada pues un café sobrefermentado dará un sabor astringente; el tiempo promedio de fermentación es de 24 horas. Después de pasar por el fermentado el café se lava con agua muy limpia y se escurre (Vinculando, 2006).

Tomando en cuenta que el beneficiado húmedo tradicionalmente ha requerido grandes cantidades de agua, la tendencia actual va encaminada hacia el menor consumo de agua posible. “La mayoría de los beneficios, sobre todo los antiguos, están cerca de ríos debido a que anteriormente era necesario utilizar mucha agua para la producción. De hecho, por kilo de café cereza en total se usaban de 8 a 10 litros de agua, ahora con los cambios ecológicos el consumo de agua está disminuyendo considerablemente, debido a que existen beneficios que sólo utilizan 1/4 de litro de agua por kilo de café” (Vinculando, 2006). El beneficio húmedo se emplea exclusivamente para obtener el café pergamino. Luego el café se pone a secar hasta obtener un 12 % de humedad. En la mayoría de las zonas indígenas de nuestro país el café se extiende en los patios de secado de las casas y por eso se dice que son “pergamineros”; los días de secado varían dependiendo de las zonas pero son aproximadamente cinco días durante los cuales se mueve a intervalos regulares para evitar un secado desigual. Los patios o asoleaderos de grandes extensiones están desapareciendo y se utilizan cada vez más máquinas aireadoras. La ventaja del patio de secado que usan en las comunidades es que aprovechan la fuente de energía natural, lo realizan en sus propias casas y los costos son bajos. Al terminar este proceso se comienza con el beneficiado seco (RedCafé, 2004).



Figura 4. Beneficio de café

Fuente: BENDIG. (2001)

3.4.1.2 Beneficiado seco

El beneficiado seco es el proceso en el que, una vez que el grano se ha secado, se retira el mucílago seco por medio de máquinas trilladoras. Producto del beneficiado seco es el café oro o verde; este café en esta misma etapa es seleccionado por color, imperfecciones, tamaño, forma y grado de humedad, para posteriormente suministrarse a la industria torrefactora, solubilizadora o refresquera del país y del exterior (Vinculando, 2006).

3.4.1.3 Industrialización final

La industrialización final del café es la transformación del café oro en café tostado, molido y soluble. El café oro debe salir del beneficio seco clasificado ya que es en este paso donde se pueden apreciar las diferentes calidades. Después es dispuesto a una selección que hacen los fabricantes con el fin de producir un tostado y molido específicos del sabor, cuerpo y aroma propios. Si se requiere, la siguiente etapa es la descafeinización o directamente la torrefacción (RedCafe, 2004).

En la torrefacción el café oro-verde se tuesta para que su sabor y aroma afloren. El grado de tueste depende del tipo de café que se quiera obtener; mientras que en la solubilización el café verde pasa de la tolva al tostador, donde se le da un tratamiento uniforme y se mide la intensidad de su color.



3.4.2 El Café en el Mundo

En el ámbito internacional se diferencian cuatro calidades básicas de café, que de acuerdo a su lugar de origen, son los siguientes: suaves colombianos, cultivados en Colombia, Kenia y Tanzania; otros suaves, que crecen en Centroamérica, México, India, Zaire, etc.; arábigos no lavados, que provienen principalmente de Brasil, Etiopía, Bolivia; y robustas, de Angola, Vietnam y Nigeria, entre otros.

En lo referente a costos, se debe mencionar que la producción del café necesita una gran cantidad de mano de obra desde su siembra hasta la recolección, siendo ésta última la que representa entre 40 y 60% de los costos totales. En este sentido se puede ver la importancia que esta actividad tiene, como generadora de empleo a escala mundial, para aproximadamente 20 millones de personas, la mayoría pequeños propietarios que viven en la pobreza.

Para Centroamérica la producción de café representa, por ejemplo, el 1,3% del PIB en Costa Rica, el 2,5% en El Salvador, 4,2% en Guatemala, 7,2% en Nicaragua y 8,2% en Honduras. En el periodo del 2002/2003, Brasil tuvo una cifra record en su zafra cafetalera con una producción de 44,6 millones de sacos de 60 kgs. En Ruanda el café se cultivaba en un 70% de las tierras, y el país debía la mitad de sus ingresos a la exportación del café, siendo el cuarto país del mundo con mayor dependencia de este sector. En Etiopía según el Gobierno, el colapso en los precios del café ha costado al país alrededor de 980 millones de euros en pérdidas por exportaciones en los últimos cinco años. En Colombia la actividad cafetalera representa hoy el 2% del PIB total nacional (22% del PIB agrícola) y mantiene una importancia significativa como generadora de empleo. La crisis internacional del café redujo en Perú un 25% la mano de obra en los cafetales y dejó en la ruina económica a 125.000 familias agricultoras que generan un millón de puestos de trabajos directos e indirectos (Vinculando, 2006).

3.4.3 El Café en México

La cafecultura en nuestro país tiene una importancia económica y social considerable que tiene sus cimientos a finales del siglo XVIII, cuando ya se habían registrado las primeras exportaciones del grano provenientes de Córdoba. Debido a la guerra de Independencia, el cultivo fue abandonado, retomándose hasta 1817.



Es hasta poco después del año 1820 que se tienen noticias del cultivo del arbusto en la zona del Soconusco. Ya desde mediados del siglo XIX se vio que algunos de los factores que podían hacer redituable el cultivo del café se encontraban en México: terreno y clima apropiados, cercanía con los centros de exportación a fin de no recargar los costos con fletes innecesarios y mano de obra barata en la época de cosecha. También se impulsó fuertemente el desarrollo de la economía cafetalera en general, especialmente la inversión extranjera, así como la ampliación de la demanda de nuestro café en Estados Unidos.

Durante el porfiriato el principal productor fue el estado de Veracruz, siguiéndole Colima, Chiapas, Guerrero, Michoacán, Morelos, Oaxaca y Tabasco; en la misma época el cultivo se extendió a los estados de Jalisco, Tamaulipas, Durango, México, Nayarit, Sinaloa y Coahuila. Actualmente el aromático se cultiva en doce estados de la República Mexicana, que son: Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, Guerrero, Hidalgo, San Luis Potosí, Nayarit, Jalisco, Tabasco, Colima y Querétaro.

Las regiones cafetaleras se concentran en cuatro zonas: las vertientes del Golfo de México y del Océano Pacífico, la zona Centro-Norte y la del Soconusco en Chiapas, en el sureste mexicano, que en conjunto abarcan 398 municipios en los 12 estados productores (Vinculando, 2006).

3.4.4 Particularidades Sociales

Desde el punto de vista social, la importancia del café reside en que más de 190,000 productores y aproximadamente 350,000 jornaleros participan en este cultivo, además de que considerando las familias de estos grupos y las del personal ligado a la transformación y comercialización del grano, alrededor de 3 millones de mexicanos dependen del café en algún grado (RedCafe, 2004).

3.4.5 Características Ecológicas

En nuestro país el café crece en zonas con condiciones generalmente semi-selváticas donde esta actividad ha tenido gran peso tanto para la conservación como para la destrucción del hábitat que lo rodea. Esta ambivalencia se debe principalmente a los métodos de cultivo y beneficiado usados, los cuales pueden adecuarse para dañar en la menor medida posible su entorno. Sin



embargo, se ha observado que las condiciones económicas de todos los productores son las que determinan la inclusión o no de métodos ecológicos (Vinculando, 2006).

3.4.6 Daños Ambientales Causados por la Cafecultura

Existen dos consecuencias ambientales principales derivadas del cultivo del grano tanto dentro como fuera de las zonas cafetaleras. La primera de ellas es la deforestación que sufren esas regiones debido a los métodos de cultivo como el "intensivo" y el "semintensivo".

El primero de ellos implica la ausencia de árboles de sombra dentro de las parcelas, lo que implica el corte de todas las especies nativas para ser reemplazadas con arbustos de porte bajo y alta productividad. Este método también implica un gran uso de insecticidas y fertilizantes químicos, lo que contamina la tierra además de propiciar la erosión del suelo debido a la corta vida de ese tipo de cafetos. Aunque el cultivo semintensivo sí permite el uso de sombra dentro del cafetal, ésta se obtiene de especies seleccionadas que proporcionan hidrógeno a los arbustos, o de otras que se introducen como árboles maderables y frutales. Esta práctica empobrece la biodiversidad vegetal nativa de esas regiones, además de poner en peligro la supervivencia de diversos animales que dependen directa e indirectamente de otras plantas que no son usadas por el hombre (Aguirre, 2003).

Por otra parte, el beneficiado tradicional del café representa otra forma importante de contaminación (junto a los residuos químicos) para las fuentes pluviales debido a que los desechos de la transformación del aromático simplemente son vertidos a ríos y arroyos, situación que los contamina durante toda la época en que se beneficia el café cereza. A esto debemos añadir el hecho de que el beneficiado tradicional usa miles de litros de agua provenientes de los mismos ríos que contamina, por lo que se tiene un gran consumo de agua limpia para beneficiar cada quintal del grano (Aguirre, 2003).

3.5 Cultivo en Sistemas Cerrados

En los sistemas cerrados, líquidos o sólidos, no existe aporte continuo de nutrientes, ni drenaje de células ni de sustancias de desecho.

3.5.1 Curva de Crecimiento en un Sistema Cerrado en Medio Líquido

Como se puede constatar en la figura 5, el crecimiento microbiano en un sistema cerrado consta de varias fases:

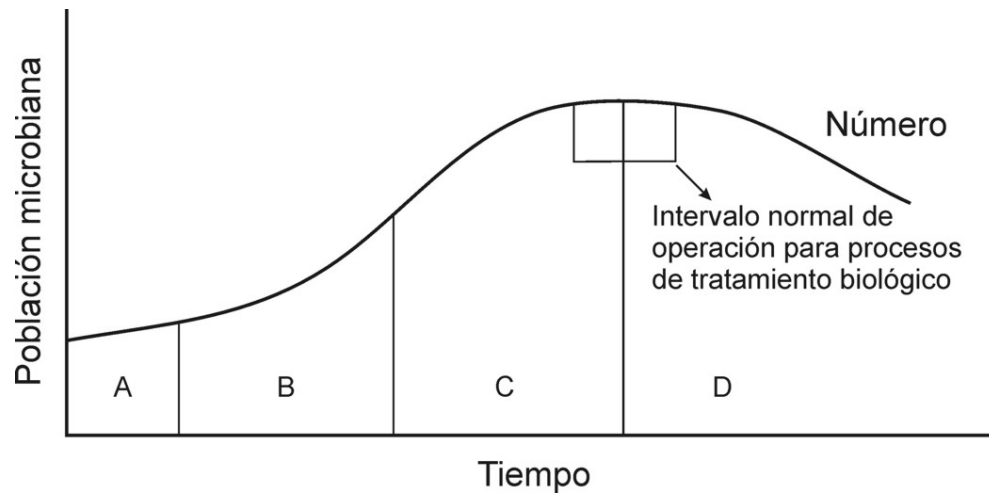


Figura 5: Curva de crecimiento microbiano (Henry 1999).
Fuente: Fontúrbel, R. e Ibáñez, N. (2004)

Si la levadura crece en un medio líquido, en la mayoría de los casos las células que se producen en cada división continúan su vida independientemente formándose una suspensión de células libres.

En un cultivo discontinuo en medio líquido, se pueden diferenciar cuatro fases en la evolución de los parámetros que miden el crecimiento microbiano:

A. Fase lag o de adaptación durante la que los microorganismos adaptan su metabolismo a las nuevas condiciones ambientales (abundancia de nutrientes y condiciones de cultivo) para iniciar la fase de crecimiento exponencial.

B. Fase exponencial o logarítmica: en ella la velocidad de crecimiento es máxima y el tiempo de generación es mínimo. Durante esta fase las bacterias consumen a velocidad máxima los nutrientes del medio. La evolución del número de células durante esta fase se explica con modelos matemáticos.



C. Fase estacionaria: en ella no se incrementa el número de bacterias (ni la masa u otros parámetros del cultivo). Las células en fase estacionaria desarrollan un metabolismo diferente al de la fase exponencial y durante ella se produce una acumulación y liberación de metabolitos secundarios que pueden tener importancia industrial. Los microorganismos entran en fase estacionaria porque se agota algún nutriente esencial del medio o porque los productos de desecho que han liberado durante la fase exponencial hacen que el medio sea inhóspito para el crecimiento microbiano. La fase estacionaria tiene gran importancia porque probablemente represente con mayor fidelidad el estado metabólico real de los microorganismos en los ambientes naturales.

D. Fase de muerte: se produce una reducción del número de levaduras viables del cultivo (Madigan et al., 1999).

3.5.2 Crecimiento en Sistemas Cerrados en Medios Sólidos

Es importante conocer la cinética de crecimiento de los cultivos microbianos para predecir cómo va a evolucionar un cultivo, cómo va a ir consumiéndose el substrato y cómo se van a ir acumulando los productos del cultivo. Las células aisladas cultivadas en un volumen finito de medio de cultivo apropiado van utilizando los nutrientes que tienen disponibles con la mayor eficiencia y rapidez que pueden, sintetizando sus propios componentes celulares y dividiéndose en cuanto han podido duplicar su masa y su material genético. Las fases, parámetros y cinética de crecimiento para el caso de los cultivos líquidos se presentan también en cultivos sólidos. La cinética de crecimiento, en este caso, se puede estudiar siguiendo la evolución del número de células viables por unidad de superficie o por unidad de masa.

Los medios sólidos se suelen inocular mediante asa de siembra o espátula, disseminando las bacterias sobre su superficie libre, en recipientes adecuados, como las placas de Petri. Tras la incubación a la temperatura y condiciones pertinentes, cada bacteria o agrupación bacteriana que ha quedado en un punto determinado del medio da origen, por crecimiento, a una acumulación de células, visible a simple vista, denominada colonia.

La densidad de cada colonia es muy alta (del orden de 10^7 células para una colonia de unos 5 mm). Esto se debe a que en el medio sólido, a diferencia del líquido, las levaduras no



pueden dispersarse, y durante mucho tiempo este medio sólido permite un aporte continuo de nutrientes y eliminación continua de productos de desecho. Por lo tanto, se parece a un cultivo continuo, excepto que no hay drenaje de células (Iañez, 2005).

3.5.3 Factores Ambientales que Afectan al Crecimiento de Microorganismos

En un proceso de crecimiento equilibrado todos los parámetros del cultivo evolucionan manteniendo unas proporciones constantes. Por tanto, la medida (seguimiento) de cualquiera de los factores nos permite seguir la evolución de los otros.

3.5.3.1 Temperatura

Cada microorganismo tiene una temperatura de crecimiento adecuada. Si consideramos la variación de la velocidad de crecimiento (μ) en función de la temperatura de cultivo, podemos observar una temperatura mínima por debajo de la cual no hay crecimiento ($dX/dt = 0$); a temperaturas mayores se produce un incremento lineal de la velocidad de crecimiento con la temperatura de cultivo hasta que se alcanza la temperatura óptima a la que μ es máxima. Por encima de esta temperatura óptima, la velocidad de crecimiento decae bruscamente ($\mu \rightarrow 0$) y se produce la muerte celular.

El incremento de μ con la temperatura se debe al incremento generalizado de la velocidad de las reacciones enzimáticas con la temperatura. En términos generales, la velocidad de las reacciones bioquímicas suele aumentar entre 1.5 y 2.5 veces al aumentar 10°C la temperatura a la que tienen lugar. La ausencia de crecimiento ($\mu=0$) a temperaturas muy bajas se debe a la reducción de la velocidad de crecimiento y al cambio de estado de los lípidos de la membrana celular que pasan de ser fluidos a cristalinos impidiendo el funcionamiento de la membrana celular. La muerte celular a altas temperaturas se debe a la desnaturalización de proteínas y a las alteraciones producidas en las membranas lipídicas a esas temperaturas.

Es importante tener en cuenta que a temperaturas muy bajas, el metabolismo celular es muy bajo y las células detienen su crecimiento; aunque no necesariamente comienzan a morir. Sin embargo, cuando la temperatura es superior a la óptima, se produce la muerte celular rápidamente y las células no pueden recuperar su capacidad de división si baja posteriormente la temperatura. Esto permite esterilizar por calor y no por frío (UNAVARRA, 1995).



Hay varios tipos de microorganismos en función de sus temperaturas de crecimiento mínima, máxima y óptima como se aprecia en la tabla 1.

Tabla 1. Tipos de microorganismos en función de su temperatura de crecimiento.

Tipo de microorganismo	Temp. mínima	Temp. óptima	Temp. máxima
Psicrófilo	-5 +5	12 - 15	15 - 20
Psicrótrofo	-5 +5	25 - 30	30 - 35
Mesófilo	5 - 15	30 - 45	35 - 47
Termófilo	40 - 45	55 - 75	60 - 90

Fuente: UNAVARRA (2006).

Existen también organismos hipertermófilos que pueden crecer a temperaturas cercanas o incluso superiores a 100°C en condiciones de alta presión. Son microorganismos muy importantes desde el punto de vista ambiental; pero no tienen aplicaciones actuales en agronomía o en microbiología industrial.

Los microorganismos psicrótrofos son mesófilos que pueden crecer a temperaturas bajas. Esto es importante porque cuando se encuentran contaminando alimentos, son capaces de crecer en condiciones de refrigeración (4 - 8°C) y de producir infecciones en los consumidores del alimento (30 - 35 °C).

Los microorganismos deben ser cultivados a la temperatura adecuada para que su crecimiento sea el deseado. Hay que tener en cuenta los problemas derivados de las altas temperaturas y controlar la de los fermentadores para evitar la esterilización de los cultivos. Estas altas temperaturas, por otro lado, tienen interés aplicado en el campo de la termodestrucción de microorganismos y en algunos procesos de fermentación en los que el incremento de temperatura que se produce es capaz de eliminar los microorganismos mesófilos patógenos presentes.

Los microorganismos se comportan a bajas temperaturas de forma diferente según se trate de condiciones de refrigeración (0°C-8°C) o de congelación (por debajo de -20°C).



En condiciones de refrigeración los microorganismos mesófilos y termófilos detienen su crecimiento ($\mu=0$) y se mantienen durante largo tiempo sin morir. Los psicrófilos y psicrótrofos pueden crecer en estas condiciones y llegar a producir poblaciones importantes.

En condiciones de congelación, la formación de cristales en el interior de las células produce unas altas mortalidades que reducen el tamaño de la población. En el momento de la congelación se produce la muerte rápida de muchos microorganismos y, a tiempos más largos, la tasa de muerte se reduce aunque el número de viables sigue disminuyendo. En esta segunda fase, la mortalidad es más rápida cuando la temperatura de congelación es más alta (más próxima a valores de -20°C) que cuando es menor (valores de -80°C). La tolerancia a la congelación de diferentes microorganismos puede variar. No se puede considerar la congelación un procedimiento de esterilización sino sólo un procedimiento de conservación. Se pueden conservar largo tiempo cultivos de microorganismos o de células eucarióticas congelados en medios que contengan agentes crioprotectores como el glicerol (UNAVARRA, 1995).

3.5.3.2 Actividad de agua

Los microorganismos requieren la presencia de agua, en una forma disponible, para que puedan crecer y llevar a cabo sus funciones metabólicas. La mejor forma de medir la disponibilidad de agua es mediante la actividad de agua (a_w). La a_w de un alimento puede reducirse aumentando la concentración de solutos en la fase acuosa de los alimentos mediante la extracción del agua o mediante la adición de solutos.

La mayoría de las bacterias y hongos crecen bien a a_w entre 0,98 y 0,995; a valores a_w más bajos la velocidad de crecimiento y la masa celular disminuyen a la vez que la duración de la fase de latencia aumenta hasta llegar al infinito (detención del crecimiento).

Algunos tipos de microorganismos son capaces de crecer en condiciones de alto contenido de sal (Baja a_w). Dependiendo de la capacidad de supervivencia a baja a_w se denominan osmófilos, xerófilos y halófilos según aumentan sus requerimientos de sal.

La baja a_w reduce también la tasa de mortalidad de las bacterias: una baja a_w protege los microorganismos durante tratamientos térmicos.



3.5.3.3 pH y la acidez.

En general, la presencia de ácidos en el alimento produce una drástica reducción de la supervivencia de los microorganismos. Los ácidos fuertes (inorgánicos) producen una baja rápida del pH externo, aunque su presencia en la mayoría de los alimentos es inaceptable. Los ácidos orgánicos débiles son más efectivos que los inorgánicos en la acidificación del medio intracelular; se supone que esto ocurre porque es más fácil su difusión a través de la membrana celular en su forma no disociada (lipofílica) y posteriormente se disocian en el interior de la célula inhibiendo el transporte celular y la actividad enzimática.

La mayoría de los microorganismos crecen a pH entre 5 y 8, en general de hongos y las levaduras son capaces de crecer a pH más bajos que las bacterias. Puesto que la acidificación del interior celular conduce a la pérdida del transporte de nutrientes, los microorganismos no pueden generar más energía de mantenimiento y, a una velocidad variable según las especies, se produce la muerte celular (UNAVARRA, 1995).

3.6 Consideraciones de Diseño.

3.6.1 Definición de Reactor Químico.

Un reactor químico es una unidad procesadora diseñada para que en su interior se lleve a cabo una o varias reacciones químicas. Dicha unidad procesadora esta constituida por un recipiente cerrado, el cual cuenta con líneas de entrada y salida para sustancias químicas, y esta gobernado por un algoritmo de control.

Los reactores químicos tienen como funciones principales:

- Asegurar el tipo de contacto o modo de fluir de los reactantes en el interior del tanque, para conseguir una mezcla deseada con los materiales reactantes.
- Proporcionar el tiempo suficiente de contacto entre las sustancias y con el catalizador, para conseguir la extensión deseada de la reacción.



- Permitir condiciones de presión, temperatura y composición de modo que la reacción tenga lugar en el grado y a la velocidad deseada, atendiendo a los aspectos termodinámicos y cinéticos de la reacción (Levenspiel, 1998).

3.6.2 Tipos de Reactores Químicos

Existen infinidad de tipos de reactores químicos, y cada uno responde a las necesidades de una situación en particular, entre los tipos más importantes, más conocidos, y mayormente utilizados en la industria se puede mencionar los siguientes:

- a)** Reactor discontinuo: es aquel en donde no entra ni sale material durante la reacción, sino más bien, al inicio del proceso se introducen los materiales, se lleva a las condiciones de presión y temperatura requeridas, y se deja reaccionar por un tiempo preestablecido, luego se descargan los productos de la reacción y los reactantes no convertidos. También es conocido como reactor tipo Batch.
- b)** Reactor continuo: mientras tiene lugar la reacción química al interior del reactor, éste se alimenta constantemente de material reactante, y también se retira ininterrumpidamente los productos de la reacción.
- c)** Reactor semicontinuo: es aquel en el cual inicialmente se carga de material todo el reactor, y a medida que tiene lugar la reacción, se va retirando productos y también incorporando más material de manera casi continua.
- e)** Tanque con agitación continua: este reactor consiste en un tanque donde hay un flujo continuo de material reaccionante y desde el cual sale continuamente el material que ha reaccionado. La agitación del contenido es esencial, debido a que el flujo interior debe estar en constante circulación y así producir una mezcla uniforme.
- f)** Reactor de lecho fluidizado: se utiliza para reacciones donde intervengan un sólido y un fluido (generalmente un gas). En estos reactores la corriente de gas se hace pasar a través de las partículas sólidas, a una velocidad suficiente para suspenderlas, con el movimiento



rápido de partículas se obtiene un alto grado de uniformidad en la temperatura evitando la formación de zonas calientes.

- g) Reactor de lecho fijo: los reactores de lecho fijo consisten en uno o más tubos empacados con partículas de catalizador, que operan en posición vertical. Las partículas catalíticas pueden variar de tamaño y forma: granulares, cilíndricas, esféricas, etc. En algunos casos, especialmente con catalizadores metálicos como el platino, no se emplean partículas de metal, sino que éste se presenta en forma de mallas de alambre. El lecho está constituido por un conjunto de capas de este material.

- o) Fermentadores: este tipo de reactores utilizan hongos, los cuales forman un cultivo, el cual a su vez se transforma en una “sopa” espesa que contiene crecimientos filamentosos. Un ejemplo se encuentra en la fabricación de antibióticos como la penicilina. (Denbigh y Turner, 1990).

3.6.2.1 Reactores Batch

Un reactor batch, también conocido como intermitente o por lotes, tiene la característica de que una reacción química se efectúa mediante la adición de los reactantes dentro del mismo y éstos se dejan reaccionar hasta que ha pasado un tiempo determinado en el cual se calcula que el avance ha sido lo suficiente para poder descargar la mezcla totalmente. Siempre un reactor intermitente es el primer equipo con el que nos encontramos con una reacción, a veces por la carencia de material para la experimentación y por el tamaño pequeño de la muestra y buen control de la reacción en el laboratorio.

Un reactor batch no tiene entrada ni salida de reactantes o productos mientras se está realizando una reacción. Un tipo de reactor batch son los fermentadores sólidos. En ellos los nutrientes se encuentran en esta forma y los microorganismos se desarrollan en la superficie del substrato o penetrando en él. Es un tipo de fermentación muy aplicada en la producción de algunos alimentos (setas cultivadas, koji, etc.) y también la que tiene lugar en los procesos de compostaje de residuos orgánicos (UDG, 2003).

3.7 Desarrollo de Levadura *Cándida utilis* para el Tratamiento de Cascarilla de Desecho

El proceso de producción de café, como se ha visto comienza con la siembra del cafeto, y pasa por los procesos de cosecha y beneficiado. La cascarilla aún en el beneficiado húmedo no tiene gran importancia; es en el beneficiado seco donde ésta adquiere su importancia ambiental ya que es a partir de aquí que el proceso que sigue la cascarilla se simplifica a su eliminación como desecho industrial en aguas de descarga en ríos o su utilización como combustible mediante su quema, lo anterior adquiere importancia al ser el porcentaje en peso de cascarilla de café con respecto del fruto del 5%, y con respecto al café pergamino de 20% lo que genera un gran volumen de desecho. Siguiendo la primera ruta, la cascarilla entra en un proceso de degradación, en donde su descomposición como materia orgánica genera problemas de contaminación en ríos; siguiendo la segunda ruta, la combustión de la cascarilla genera gases de efecto invernadero y/o tóxicos al ser la combustión poco eficiente (CO_2 y CO).

Sin embargo, la celulosa contenida en la cascarilla-desecho podría ser degradada por medio de levadura *Candida utilis*, generándose un producto de gran valor económico por su alto contenido de proteína, SCP, de calidad similar a la del sorgo o maíz. Como menciona la Coordinadora Nacional de Organizaciones Cafetaleras, la *Candida utilis* “al enriquecer el bagazo con proteínas, permite reconvertir desecho en un alimento balanceado (forraje) para el ganado” (IRD, 2001).

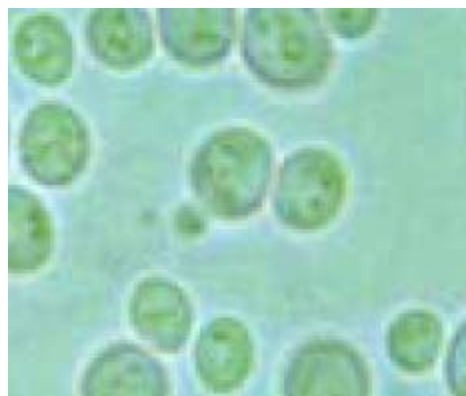


Figura 6. Levadura *Cándida utilis*

Fuente: UAM (2005)

Una vez cultivada la levadura se separa y se seca, obteniéndose un producto de valor agregado para la empresa. Lo anterior debido a que, como dice la Dra. Concepción Lemus (2005,



párr. X) “La *Cándida utilis* se puede agregar a las galletas, refrescos, sopas, tortillas, como un fortificante porque posee muchas proteínas. La *Cándida utilis*, en un futuro esperamos que sea un potencial para la economía... que también puede resolver el problema de mala nutrición” (Lemus, C., 2005, párr. 10)

3.7.1 Importancia del Desarrollo de la Tecnología

La Cámara Agropecuaria y Agroindustrial de El Salvador en su artículo “Proteína Unicelular de Levadura *Candida utilis* en jugo de pulpa de café” (CAMARGO, 2003) indica las ventajas de producir Proteína Unicelular:

- Los microorganismos se multiplican con rapidez.
- Poseen un alto contenido de proteína (55-60%) y hasta un 15% de ácidos nucleicos en base a peso seco.
- Pueden utilizar un gran número de fuentes de carbono diferentes.
- Factibilidad de seleccionar o producir con facilidad cepas con alta producción y buena composición.
- Las instalaciones de la producción ocupan áreas limitadas y dan producciones elevadas.
- La producción microbiana es independiente de variaciones climáticas o estacionales y por consiguiente es más fácil de planear. Aludiendo al Dr. Jack Britt (s.f.), la ventaja de este proceso radica en que se obtienen altas productividades gracias al empleo de procesos y controles automatizados, tasas de crecimiento rápidas, aumento de la eficiencia de la utilización de los nutrientes por parte de los microorganismos y producción de proteína de alta valor biológico (Martínez, et al, 2001).

A la hora de observar los residuos generados por la utilización del método de tratamiento de desechos y de producción de proteína, teniendo que dársele un uso o tratamiento, se pueden utilizar como abono, como expone la Dra. Concepción Lemus (2005), se entierra el residuo de café, se remueve constantemente hasta que está seco para que no despidan mal olor. Su proceso por lo general dura 3 años para que pueda ser utilizado.

En el presente trabajo se realizan procesos de fermentaciones aeróbicas con levaduras en lecho sólido, empleando los desechos de café para enriquecerlos con proteína unicelular.