

ECOLOGÍA MICROBIANA DEL CUERPO HUMANO. RELACIONES BENEFICIOSAS Y PERJUDICIALES

MICROBIAL ECOLOGY OF THE HUMAN BODY. BENEFICIAL AND HARMFUL RELATIONS

Orlando Gualberto Rodríguez del Rey Piña¹E-mail: ogrodriguez@ucf.edu.cuORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6895-4458>Aida Margarita Romero Jimenez¹E-mail: mrromero@ucf.edu.cuORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2550-6983>Reina Dayamí Reina Reyes¹E-mail: rdreyes@ucf.eduORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8294-6806>¹Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez". Cuba.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Rodríguez del Rey Piña, O. G., Romero Jimenez, A. M., Reina Reyes, R.D. (2023). Ecología Microbiana del cuerpo humano. Relaciones beneficiosas y perjudiciales *Revista Científica Agroecosistemas*, 11(2), 30-38. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>

RESUMEN

Los microorganismos que forman parte del microbiota normal son aquellos que viven permanentemente en los sitios específicos del cuerpo humano, lugar donde encuentran los nutrientes para multiplicarse. El objetivo fundamental del presente trabajo fue describir los grupos microbianos que interactúan con el cuerpo humano, y relacionar las infecciones oportunistas con el microbiota normal. Los resultados del trabajo muestran curiosamente, que un estimado de 129 géneros y especies de microorganismos, componen el microbiota normal, y que esta interactúa de manera simbiótica y comensal con el cuerpo humano, siendo las bacterias el grupo microbiano predominante. Estos microorganismos, se encuentran con mayor frecuencia en el tracto gastrointestinal y en la cavidad bucal. Igualmente encontramos que las bacterias Grampositivas predominan en la piel, y las Gramnegativas en las mucosas. En un segundo momento de la investigación, se logró establecer una comparación entre los microorganismos que forman parte de la microbiota y su potencial como patógenos oportunistas, cuando se rompe el equilibrio físico e inmunológico con el huésped humano, relocalizándose en sitios diferentes, causando infección y enfermedad endógena. De manera que se logra incursionar en un tema que resulta polémico actualmente en el campo de la Microbiología, por lo que resulta novedoso, poder llenar el vacío del conocimiento que posibilita estudios posteriores en temas relacionados.

Palabras clave:

Simbiótica, comensal, microbiota, patógenos oportunistas .

ABSTRACT

The microorganisms that are part of the normal microbiota are those that live permanently in specific places in the human body, where they find the nutrients to multiply. The fundamental objective of this work was to describe the microbial groups that interact with the human body, and to relate opportunistic infections with the normal microbiota. The results of the work curiously show that an estimated 129 genera and species of microorganisms make up the normal microbiota, and that it interacts symbiotically and commensally with the human body, with bacteria being the predominant microbial group. These microorganisms are found more frequently in the gastrointestinal tract and in the oral cavity. We also found that Gram-positive bacteria predominate in the skin, and Gram-negative bacteria in the mucous membranes. In a second moment of the investigation, it was possible to establish a comparison between the microorganisms that are part of the microbiota and their potential as opportunistic pathogens, when the physical and immunological balance with the human host is broken, relocating to different sites, causing infection and endogenous disease. Thus, it is possible to venture into a topic that is currently controversial in the field of Microbiology, which is why it is novel, to be able to fill the knowledge gap that enables subsequent studies on related topics.

Keywords:

Symbiotic, diner, microbiota, opportunistic pathogens.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la ecología microbiana del cuerpo humano ha crecido de manera exponencial en la última década en el mundo. Su importancia en el proceso de salud enfermedad del ser humano se hace cada vez más evidente. Se le ha implicado en múltiples enfermedades autoinmunes, autoinflamatorias, en cáncer, obesidad, síndrome metabólico y riesgo cardiovascular. La transgresión del microbioma en ocasiones puede ocurrir por el abuso de ciertos fármacos como antibióticos e inhibidores de bomba de protones, entre otros. Reestablecer el equilibrio entre el microbiota y el ser humano debe de ser prioritario para mantener la salud del individuo (Moreno del Castillo *et al.*, 2018).

La Ecología microbiana humana, difiere de la ecología de otros organismos. Por ejemplo, el microbioma humano, se compone, de más de 100 billones de microorganismos de diferentes especies, los cuales se benefician de nosotros, y a pesar de tener más bacterias que células propias en nuestro cuerpo. Mucha gente ha creído –y sigue creyendo– que las bacterias son malas, pero una gran mayoría de ellas realizan funciones vitales como la intervención en la expresión de genes y prevención de enfermedades; es por eso que el microbioma también ha sido llamado “el órgano perdido” y “el genoma extendido” (De Robertis, 2012).

Antes del nacimiento un feto sano está libre de microorganismos, su primer encuentro se produce en el canal del parto, especialmente en la vagina de la madre. El recién nacido adquiere éstos por el contacto superficial, tragando o inhalando. Posteriormente, a través del ambiente, como objetos o personas que los cuidan; aunque existe la excepción de los nacimientos meconios que ocurren por causas no fisiológicas. La mayor parte de microorganismos que habitan en el cuerpo humano lo hacen porque se benefician de los nutrientes y el hábitat protegido que éste les provee; pero desde el punto de vista del cuerpo humano esta relación puede ser beneficiosa, neutral o perjudicial. Donde algunos microorganismos se establecen permanentemente (microbiota normal), y otros desaparecen rápidamente (microbiota transitorio) (Jawetz, *et al.*, 2006).

Los microorganismos que forman parte del microbiota normal son aquellos, que viven permanentemente en los sitios específicos del cuerpo humano, lugar donde encuentran los nutrientes para multiplicarse, que es el microbiota normal. Existe también el microbiota transitorio, donde los microorganismos son eliminados mediante las normas de higiene personal, como por ejemplo el lavado de las manos, el aseo del cuerpo durante el baño diario, el cepillado de los dientes, el cambio de ropa, y la higiene en general. Por otra parte, los microorganismos del microbiota son necesarios en la digestión de los alimentos, ya que aportan las enzimas para degradarlos, además contribuyen a la consolidación del sistema inmune. Son también fuente de vitamina K y complejo B, además desarrollan procesos de competencia en los sitios anatómicos

donde se establecen, que impiden la invasión de patógenos externos.

Curiosamente, se estima que, en el organismo humano, existen diez veces más células de microorganismos que las del propio cuerpo. Por ejemplo, el genoma humano, tiene entre 20,000 y 25,000 genes, mientras que el microbioma humano en total, alcanza unos 8 millones de genes. Así, los microorganismos que habitan en el aparato digestivo (99% del total de todo el microbiota), tienen una concentración aproximada de dos billones de microorganismos por gramo de materia fecal, y pesan todo un total de 1.3kg, similar a un cerebro humano promedio (Jiménez, *et al.*, 1986).

Por ello, no es posible liberarnos de los microorganismos, ya que somos un sitio ecológico apropiado, que los hacen estables en el hábitat corporal humano. Posemos receptores biológicos específicos que garantizan la unión de los microorganismos a los epitelios de nuestro cuerpo, también los microorganismos, pueden tolerar los potenciales Redox (alta concentración de oxígeno) de los fluidos corporales, tal y como ocurre con la presencia de las bacterias del intestino. Además, los microorganismos del microbiota, producen un tipo de sustancias, llamadas bacteriolisinas, que eliminan otras bacterias por competencia. Por ejemplo, las colisinas, producidas por *Escherichia coli*, y el efecto regulador del pH, en el caso de los *Lactobacilos* en la vagina de la mujer.

Dada la complejidad que representa el nicho ecológico del cuerpo humano y su interacción con los microorganismos, decidimos profundizar en estas particularidades, estudiando la distribución ecológica de los microorganismos por diferentes sitios anatómicos y la relocalización que tiene lugar cuando se producen las infecciones oportunistas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trata de un trabajo de investigación científica, empleando los métodos teóricos y empíricos del conocimiento. Realizando análisis de documentos relacionados con el tema. Para ello se revisó la literatura científica, buscando antecedentes de trabajos similares, en libros, artículos y revistas, así como en las plataformas bibliográficas digitales Scopus, SciELO, PubMed, Redalycs, Latindex, y Google académico. La búsqueda se realizó por vía automatizada, empleando buscadores de confianza y palabras claves como: microbiota y ecología microbiana del cuerpo humano. Esto permitió documentar y organizar toda la información necesaria, referida a los grupos microbianos (bacterias, hongos, virus, y protozoos), que interactúan de forma comensal, mutualista, y perjudicial con el ser humano.

Adicionalmente, y a propósito de los objetivos de la investigación, decidimos relacionar los grupos microbianos con los sitios anatómicos del cuerpo humano, para poder establecer las comparaciones correspondientes, en cuanto a la cuantificación y tipos de especies que componen el microbiota humano normal. A propósito, se diseñó una tabla general (1), ubicada en anexos, en la cual se

vació toda la información obtenida, después de revisar la literatura científica, para brindar una mejor comprensión de la distribución microbiana en el cuerpo humano.

Del análisis y computación de los datos de la Tabla 1, ubicada en anexos, se construyeron gráficos (3) y una tabla (2). Organizando la información por sitios anatómicos (6). Entre los que se encuentran: 1. La pie; 2. Región ocular; 3. Tracto respiratorio; 4. Cavidad bucal; 5. Tracto genito-urinario, y 6.

El tracto gastrointestinal.

En un segundo momento de la investigación, fueron revisados los trabajos científicobibliográficos correspondientes, para poder conocer y relacionar la dinámica del microbiota, cuando por razones físicas, fisiológicas e inmunológicas, derivadas del huésped y del medio ambiente, los microorganismos que componen el microbiota, comienzan a producir daños, convirtiéndose en patógenos oportunistas, causando infección y enfermedad endógena. Para ello se diseñó una Tabla 2, donde se seleccionaron algunos microorganismos que componen el microbiota, y que se ubican en un sitio anatómico inicial, pero después se relocalizan, produciendo infecciones secundarias y oportunistas en sitios distantes y diferentes de la anatomía humana.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 (anexo 1), recoge la distribución de las especies microbianas, que, de forma beneficiosa o comensal, interactúan con los 6 sitios anatómicos, que fueron propuestos inicialmente para estudiar la ecología microbiana del cuerpo humano. En este caso se contabilizaron 129 especies en general, que incluyen representantes de todos los géneros microbianos (bacterias, hongos, virus y protozoos). Haciendo la aclaración que en la sangre, cerebro y fluidos corporales no se contabilizan especies de microorganismos, porque en condiciones normales estos sitios del cuerpo humano, no presentan colonización microbiana, salvo en los casos, cuando se produzca una infección endógena sistémica. Las especies contabilizadas y registradas en la tabla 1 (anexo 1) por cada sitio anatómico fue la siguiente: En la Piel (11 especies), Región ocular (6 especies), Tracto respiratorio (22 especies), Cavidad bucal (33 especies), Tracto genitourinario (21 especies), y Tracto gastrointestinal (36 especies)

Aunque esto resulta un valoración teórica, porque en la práctica el número de microorganismos que pertenecen a una misma especie, y que se encuentran ecológicamente establecidos en el cuerpo humano, superan los millones, por ejemplo en cada centímetro cuadrado de la superficie de la piel humana, podrían haber más de 10, 000 bacterias, estimándose alrededor de 100 billones de microorganismos en toda la anatomía corporal, lo cual constituye el microbioma. A propósito, Petrosino et al. (2008) se refieren a que el microbioma, es la población total de microorganismos con sus genes y metabolitos que colonizan el cuerpo humano e incluye, el tracto

gastrointestinal, genitourinario, cavidad oral, región ocular, tracto respiratorio, y la piel.

Por lo que los microorganismos estarán presentes en la topografía humana, siempre que las condiciones ambientales sean favorables. Y entre los factores que más contribuyen a su presencia en el cuerpo humano, se encuentran la adherencia a los epitelios, ya que los microorganismos poseen receptores específicos que les permiten colonizar cada uno de los sitios anatómicos, sin producir daños secundarios. Atendiendo al análisis anterior, Methé et al., (2023), y Moreno del Castillo, (2018), define a la microbiota humana como la comunidad de microorganismos que ocupan un hábitat específico de manera comensal, mientras que el término de microbioma, se refiere a la microbiota y la función que cumple dentro de dicho entorno, se dice además que el microbioma, es el ecosistema interno, que conforman los humanos con los microorganismos.

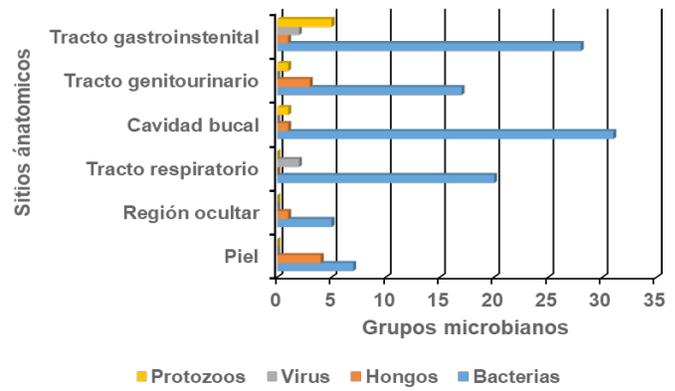


Figura 1. Distribución de los microorganismos por sitios anatómicos

La Figura 1, muestra la distribución de los diferentes grupos microbianos (bacterias, hongos, virus y protozoos) por cada sitio anatómico estimado en el estudio. Se observa, que el sitio donde se encuentra el mayor número de especies de microorganismos, es en el tracto gastrointestinal (36 especies), específicamente en la anatomía de la mucosa del Colon. Este sitio anatómico, supera a la cavidad bucal, al tracto genitourinario, y también a todos los demás sitios. Similares resultados son descritos por Llop, et al., (2001), cuando explica que la alta distribución de microorganismos en la cavidad bucal, intestino, y tracto genitourinario, se debe fundamentalmente a que, en estas zonas, existen condiciones favorables de humedad, temperatura, nutrientes y pH favorable, para permitir una amplia colonización microbiana, a diferencia del bajo aporte nutricional y otros factores que no encuentran los microorganismos en la piel.

Se observa que las bacterias ocupan un número mayor de sitios anatómicos, seguido de los hongos, después los protozoos y por último los virus. Esto se explica, porque las bacterias en particular y a diferencia del resto de los grupos microbianos, presentan mayores posibilidades nutricionales en el cuerpo humano, utilizando diferentes vías metabólicas (fermentación y oxidación), de manera alternativa para obtener energía. Por ejemplo,

las bacterias que se encuentran en el cuerpo humano, funcionando como microbiota normal, son todas quimioheterótrofas, por lo que pueden tomar la energía (ATP) y el carbono de la misma fuente nutricional, en este caso de los alimentos que consume el ser humano. Además las bacterias, en especial, disponen de mayores interacciones bioquímicas entre los componentes de la pared celular (ligandos) con los receptores de la célula huésped a nivel molecular. Estos componentes bacterianos, son las adhesinas, cápsulas, y fimbrias. Sin embargo, estos atributos anatómicos, no están muy desarrollados en los hongos, y protozoos.

A Propósito Wagner (1990) explica que la mayoría de las bacterias, a diferencia de otros microorganismos, poseen un sistema de adaptación fisiológica más eficiente a la variación del pH del cuerpo humano, pudiendo de esta forma, establecerse en determinados sitios, facilitando su colonización. Las bacterias, también se multiplican más rápido que los hongos, protozoos y virus, además utilizan el oxígeno ocasionalmente, porque algunas son anaerobias facultativas (pueden o no utilizarlo) o microaerófilas (requieren poco oxígeno). También algunas bacterias como *Pseudomonas aeruginosa*, que forma parte de la microbiota de la vía respiratoria e intestinal, presentan mecanismos de apropiación de nutrientes, llamados sideróforos, que garantiza su nutrición constante, a partir de los fluidos corporales del ser humano.

De las 108 especies de bacterias (Tabla 1), 61 son bacterias Grampositivas, y 47 bacterias Gramnegativas. El resto de los grupos microbianos, que también reaccionan a la coloración de Gram, son los Hongos levaduriformes, las Arqueas, y los Actinomicetos, los cuales se consideran Grampositivas. Aunque se aprecia en este estudio, una diferencia entre las bacterias Grampositivas (mayor), con respecto a las Gramnegativas (menor), pero su presencia en algunos sitios anatómicos, no deberá interpretarse de forma absoluta, ya que tanto las bacterias Grampositivas como las Gramnegativas, pertenecen a un género determinado, en el que se encuentran también otras especies que forman parte de la microbiota humana, pero por razones de complejidad técnica e interés del trabajo no se destacan (anexo 1). Sin embargo, estas especies de bacterias, pueden ser clasificadas taxonómicamente, dentro de sus géneros específicos, realizando técnicas de aislamiento, y cultivos en medios selectivos y diferenciales, así como pruebas bioquímicas y actividad fisiológica.

Hay que considerar también, que los resultados en cuanto al tipo de especies bacterianas y números por sitios, pueden ser distintos de una persona a otra. Entiéndase como el número de representantes de un tipo determinado de bacteria, de una misma especie (comúnmente llamado colonia bacteriana, si es un cultivo puro). Ya que las bacterias Grampositivas como las Gramnegativas, muestran cierto dinamismo, y se deslazan a través de toda la anatomía humana, debido a las demandas de nutrientes, y a otros factores específicos asociados a su actividad fisiológica y sobrevivencia.

Estas condiciones nutricionales, que resultan beneficiosas para las bacterias, pudieran variar entre una persona a otra, por lo que las bacterias, cambian de un sitio a otro, adaptándose a las nuevas condiciones. Así, generalmente las bacterias Grampositivas se encuentran en la piel, y las bacterias Gramnegativas, lo hacen mayormente en las mucosas, mayormente colonizando el intestino humano, como, por ejemplo, especies de los géneros *Klebsiella* sp, *Enterobacter* sp, y *Citrobacter* sp.

Otros ejemplos de bacterias Gramnegativas, que están presentes en una alta proporción en el cuerpo humano, son las especies anaerobias de los géneros *Bacteroides* sp y *Bifidobacterium* sp, que ocupan el 96-99 % de todas las bacterias del Colon. Tal es el caso también de *Escherichia coli*, una especie Gramnegativa, que se comporta como anaerobia facultativa, debido a su adaptación a la baja disponibilidad de oxígeno en las mucosas, y que se encuentra formando parte de la microbiota intestinal de los animales. Precisamente en este sitio, pudiera superar en números a otras bacterias del propio intestino, y también a las bacterias Grampositivas, que se encuentran en la piel, así como en otras regiones anatómicas del cuerpo humano.

Asimismo, Murray et al., (2009) consideran que las variaciones de las especies de bacterias Grampositivas y Gramnegativas, en los diferentes sitios anatómicos, se deben fundamentalmente al huésped humano en específico, ya que factores como la edad, las enfermedades, y la alimentación, varían de una persona a otra, que, a su vez, producen cambios considerables en los potenciales de oxidorreducción. Estos potenciales indican la capacidad de las bacterias Grampositivas y Gramnegativas para generar energía y sintetizar nuevas moléculas. En las aerobias que realizan la oxidación, los valores Redox son positivos, y en las bacterias anaerobias que realizan la reducción, los valores Redox son negativos. También influyen otros parámetros, como la temperatura, y el pH de los sitios anatómicos, así como la disponibilidad de nutrientes que determinan la colonización, nutrición y metabolismo de las bacterias, para establecerse como microbiota normal en estos sitios.

Un ejemplo, que ilustra este análisis, es la disbacteriosis que se crea en la región anatómica del Colon de algunas personas, cuando se invierte la microbiota intestinal, a partir de causas fisiológicas derivadas del huésped, lo cual conlleva a un predominio de bacterias Grampositivas, que superan en número a las bacterias Gramnegativas. Esto pudiera desencadenar el llamado "Síndrome de Colon Irritable", que es una enfermedad de origen desconocido, que cursa con cuadros diarreicos intermitentes. Sin embargo, esta afección, puede ser tratada con el uso de probióticos, a base de concentrados alimenticios, que contengan *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterias*, ya que estas bacterias, elevan la concentración de *citosinas*, que impiden a la vez las re-infecciones por otros microorganismos. De igual modo la abstinencia fecal (Constipación), pudiera ser tratada con el uso de concentrados de algunas cepas específicas de *Escherichia coli* por vía oral.

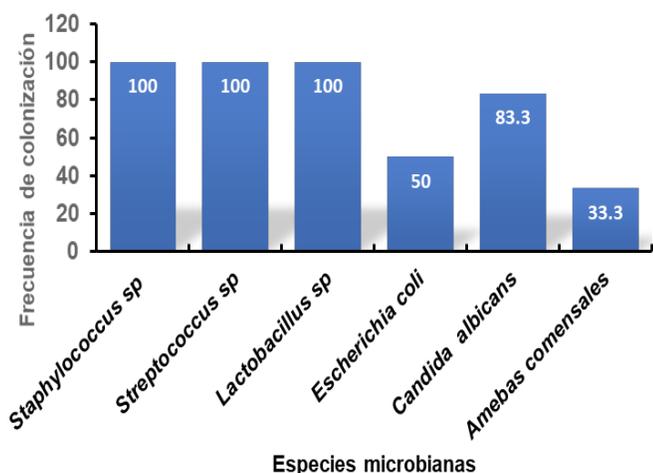


Figura 2. Frecuencia de colonización microbiana por sitio anatómico

En la Figura 2, aparece la distribución por frecuencias de las especies microbianas que colonizan el cuerpo humano, manteniendo su presencia como microbiota normal. En este caso, se observa como las especies bacterianas predominan en todos los sitios (6). En este orden: *Staphylococcus sp* (6 sitios) , *Streptococcus sp* (6 sitios) , *Lactobacillus sp* (6 sitios) , *Escherichia coli* (3 sitios) . Le continúan los hongos levaduriformes, representados por *Candida albicans*, en 5 sitios; y por último, aparecen las *Amebas* comensales, en 2 sitios.

En el caso de los virus , no fueron tenidos en cuenta , para efectuar estas comparaciones, con los demás grupos microbianos , ya que su presencia como microbiota normal en algunos sitios anatómicos del cuerpo humano, es aún cuestionada en la bibliografía especializada , porque que lo hacen siempre de manera parásita , conviniendo de forma transitoria o persistente (ejemplo los adenovirus , rotavirus , herpes virus , enterovirus, etcétera) , dentro de las células, sin provocar daños e infección , hasta tanto , puedan ser activados y replicarse por factores relacionados con el huésped .En este caso la relación biológica: virus –organismo , no ofrecen ningún beneficio al cuerpo humano, a diferencia de lo que ocurre con las bacterias , ya que estas , interactúan de manera comensal con el organismo humano, contribuyendo de forma beneficiosa como microbiota normal, adaptada a este cuerpo humano, del cual forma parte.

Al retomar la información de la figura 2, se observa, que especies de los géneros *Staphylococcus sp*, *Streptococcus sp*, y *Lactobacillus sp*, están presentes (100 %) en todos los sitios anatómicos (6), previamente escogidos para efectuar este estudio. Y cuando se profundiza en las características de estas tres bacterias, todas son Grampositivas. Llevan a cabo la nutrición (obtienen el carbono y otros nutrientes), y el metabolismo (obtienen el ATP), con baja concentración de oxígeno (anaerobias facultativas), además toleran valores de pH variables. Factores estos que están presentes en toda la anatomía y fisiología humana.

A esto , se le adiciona , que en estos 6 sitios de la anatomía humana , existen tejidos , con una composición química y física, que son afines a estas bacterias , lo cual le proporcionan, estabilidad y hábitat estable .Las bacterias en particular , poseen adhesinas , que le permiten colonizar varios sitios anatómicos simultáneamente , estableciéndose cómo microbiota normal, además, por razones derivadas del huésped , estas bacterias, también son transportadas por los objetos, ambiente aéreo, aseo personal , y durante la alimentación, favoreciendo su colonización permanente. Iguales consideraciones son referenciadas por Rojas *et al.*, (1988) y Brock. (2015) cuando explican, que el microbiota humano, es dinámica, varía en las diferentes zonas del cuerpo, y cambia en un mismo sitio. También varía con la edad, y de una persona a otra, en dependencia de las características metabólicas y fisiológicas individuales.

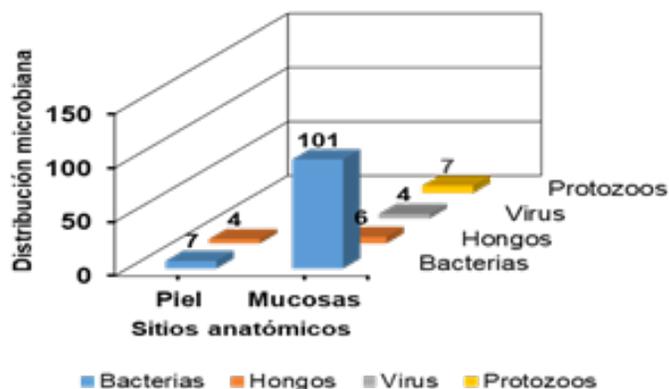


Figura 3. Distribución de los grupos microbianos en piel y mucosas

En la Figura 3, se estudia la distribución de los diferentes grupos microbianos, en la piel y mucosas, que son los sitios más extensos del cuerpo humano, y engloban a los sitios restantes, discutidos anteriormente. Partiendo del análisis de los resultados graficados, se observa, que, en las mucosas, es donde se encuentra la mayor distribución y concentración de microorganismos (116 especies microbianas), sin embargo, en la piel, tan solo 13 especies. Estas especies pertenecen a las bacterias, hongos, virus y protozoos. Así, por ejemplo, en primer lugar, las bacterias son el grupo microbiano predominante (108 especies): 101 en las mucosas y 7 en la piel. Después le continúan los hongos (10 especies): 6 en las mucosas y 4 en la piel. Le siguen los protozoos (7 especies): 7 en mucosas, y ninguno en la piel. Y, por último, se encuentran los virus (4 tipos): 4 en mucosas y ninguno en la piel.

De forma general, en este estudio, el número de especies microbianas fue mayor en las mucosas (116) que en la piel (13), estando mayormente representados por las bacterias. Esto se explica porque en las mucosas, existe un microhábitat que favorece la vida de los microorganismos, por factores relacionados con la humedad, pH y temperatura, lo cual permite la colonización de varios grupos microbianos y de especies diferentes. Además, la piel no es un medio apropiado para el establecimiento de los microorganismos, solo lo hacen aquellos microorganismos del microbiota específico, y otros que de forma ocasional

constituyen el microbiota transitorio. Es la zona más extensa del cuerpo humano, que se encuentra expuesta al medioambiente y a los cambios bruscos de temperatura y desecación, que después durante la higiene corporal se eliminan mecánicamente los microorganismos. También en toda esta zona, existe baja disponibilidad de nutrientes a diferencia de las mucosas, donde es por naturaleza un medio húmedo, rico en sustancias nutritivas, derivadas de los alimentos y también de los tejidos humanos. Todo esto favorece la mayor colonización y distribución de los microorganismos en las mucosas que en la piel

Estos resultados son igualmente referenciados por Allaire *et al.*, (2018) cuando explican que, debido a la disponibilidad de nutrientes, y pH cercano a la alcalinidad, hacen de estas zonas (las mucosas) un lugar apropiado para la vida microbiana. Lo cual, se ha comprobado que el ser humano, contiene más agentes bacterianos intestinales que células "propias" en todo el organismo (10^{14} versus 10^{13}), lo que supone, una participación determinante de los microorganismos en el mantenimiento de nuestra homeostasia y bienestar.

A propósito, los estudios de Rojas *et al.*, (1988) corroboran los resultados encontrados en el presente estudio, ya que la piel, a diferencia de las mucosas, es un lugar hostil para la mayoría de los microorganismos, y su permanencia en esta zona atraviesa por variadas consideraciones. Por ejemplo, la piel, posee diferentes estructuras, y las funciones de cada una son también diferentes. Esto provoca que la epidermis no sea exactamente igual en todas sus porciones, y, por lo tanto, los microorganismos que habitan en sitios diferentes son distintos. Adicionalmente Grice *et al.*, (2023) explican también que los hábitats de la piel, tienden a ser muy diferente entre segmentos corporales o estructuras anatómicas, sin embargo, son muy similares entre individuos de la misma edad y sexo, pues estos poseen propiedades, físicas, químicas y fisiológicas comunes que facilitan la colonización de microorganismos con las mismas características.

Así, el pH de la piel, es generalmente ácido(entre 4 y 6), debido al alto contenido de ácidos orgánicos que se excretan por esta zona del cuerpo , lo cual , resulta poco apropiado para el establecimiento de los microorganismos, y aunque la concentración de microorganismos en esta zona , se encuentra en el orden de 10^3 - 10^4 por cm^2 , estos no permanecen en este sitio por mucho tiempo, debido a la interacción ambiental, que crea variaciones de temperatura , lo cual es contrario a la supervivencia microbiana , dado el medio seco a que se exponen , y a la poca humedad

Por lo que la mayor parte del microbiota normal de la piel, se encuentra en zonas húmedas (10^6 microorganismos / cm^2) del estrato córneo y dentro de los folículos pilosos. Tanto los folículos pilosos y las glándulas sebáceas sirven de reservorio de un pequeño número de microorganismos, que reemplazan los eliminados de la piel por el lavado. Aunque la mayor parte de los microorganismos son arrastrados y eliminados durante la higiene del cuerpo, pero después se normaliza al cabo de las 8 horas. Por lo que el microbiota de piel, consiste generalmente en bacterias Grampositivas, que son las mejores adaptadas a estas condiciones, y pertenecen generalmente a los géneros *Staphylococcus sp* y *Corynebacterium sp*.

La cavidad bucal y el tracto gastrointestinal, por presentar tejidos mucosales, se convierten en las zonas del cuerpo con mayor presencia microbiana, predominando las bacterias Gramnegativas (en el tracto gastrointestinal). Estas bacterias que se encuentran en el tracto gastrointestinal, poseen una variedad de sistemas enzimáticos, que le permite interactuar metabólicamente con diferentes sustratos orgánicos derivados de la alimentación humana. El Colon, por ejemplo, es el mayor reservorio de microorganismos, con conteos de 10^{12} bacterias por gramo de materia fecal recién emitida. Entre ellas las especies anaerobias obligadas, *Bacteroides sp*, *Bifidobacterium sp*, y *Escherichia coli* , que es la más representativa.

Tabla 2. Relocalización anatómica del microbiota normal durante las infecciones oportunistas

Especies de microorganismos del microbiota	Sitio anatómico de localización inicial	Sitio anatómico de infección secundaria	Tipo de enfermedad oportunista
Staphylococcus aureus	Piel y membranas mucosas	Piel, pulmones, región ocular	Abscesos, septicemia, neumonía
Streptococcus pyogenes	Piel, faringe	Piel, pulmones, corazón	Neumonía, Abscesos, endocarditis
Haemophilus influenzae	Tracto respiratorio	Piel, sistema nervioso central (SNC)	Neumonía, meningitis
Actinomyces sp	Tracto respiratorio	Cavidad bucal	Absceso periodontal
Streptococcus mutans	Tracto respiratorio	Cavidad bucal	Caries dental
Streptococcus sanguinis	Tracto respiratorio	Corazón	Endocarditis
Streptococcus epidermidis	Piel y mucosas	Piel, membranas mucosas	Abscesos
Escherichia coli	Tracto gastrointestinal	Tracto genitourinario, piel	Cistitis, uretritis, pironefritis, y sepsis en herida
Neisseria meningitidis	Faringe	SNC	Meningitis

Pseudomonas aeruginosa	Faringe	Piel, oído	Sepsis en herida, otitis
Micobacterium sp	Tracto respiratorio	Pulmón, intestino, sistema óseo	Neumonía
Corinebacterium sp	Piel, y membranas mucosas	Faringe, corazón	Faringe, endocarditis
Candida albicans	Mucosa oral y urogenital	Piel, pulmones, y mucosas	Candidiasis
Entamoeba gingivalis	Cavidad oral	Dentición	Gingivitis
Amebas comensales	Tracto gastrointestinal	Tracto gastrointestinal, SNC	Diarrea, absceso hepático, meningoencefalitis

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2, aparecen un conjunto de especies microbianas en representación de toda la microbiota humana, que se ha seleccionado, a propósito de la investigación, para poder estudiar la dinámica de estos microorganismos en el cuerpo humano. Todas se encuentran en un sitio específico de localización inicial, pero cuando se rompe el equilibrio físico-inmunológico, entre el microorganismo y el huésped, comienza un proceso complejo de relocalización, donde algunas especies comensales o beneficiosas para el organismo humano, se convierten en potenciales patógenos secundarios u oportunistas, produciendo infección o enfermedad endógena, en el mismo sitio donde se encuentran habitualmente, o se desplazan a sitios distantes de su localización inicial (relocalización).

Esto se relaciona con el hecho, que, entre los microorganismos y el huésped humano, se producen interacciones biológicas que favorecen la colonización inicial, para establecerse en los diferentes sitios. De manera que aquellos microorganismos, mejores adaptados, pueden permanecer en el mismo sitio por determinados periodos de tiempo, por el contrario aquellos microorganismos menos adaptados ecológicamente con el ser humano, están sujetos a variaciones, y se desplazan de un sitio anatómico a otro, produciendo infecciones oportunistas, en dependencia de la susceptibilidad del huésped, y de sus condiciones físicas e inmunológicas, además de los atributos patogénicos o determinantes de patogenicidad y virulencia que exhiban estos microorganismos.

Similares consideraciones son puntualizadas por Mateos (2004), cuando destaca que la microbiota humana es dinámica en el tiempo, esta puede cambiar en dependencia de la edad de la persona o del estado fisiológico, siendo más evidente en el intestino humano y en la vagina de la mujer, además plantea, que hay que tener en cuenta que los microorganismos que componen la microbiota humana, pueden exacerbar su virulencia, debido a la adquisición de fagos, también por sustitución de un serotipo por otro dentro de la misma especie, y por transmisión episomal, al adquirir elementos genéticos móviles transponibles, tales como plásmidos, que aportan el carácter de virulencia.

De este modo, el conocimiento del tipo de microorganismo que suele habitar en los distintos sitios del cuerpo humano, es de gran ayuda en la determinación del tipo de infección que puede ocurrir posterior al daño en esos mismos tejidos. De hecho, la mayoría de los seres

humanos conviven en armonía y perfecta salud con los microorganismos de la microbiota, sin embargo cuando está suprimida la respuesta inmune en un paciente sano, o cuando la persona fallece, los microorganismos se convierten en patógenos oportunistas, produciendo infección, enfermedad, y putrefacción de los cadáveres.

Así, todos los miembros del microbiota humano son considerados patógenos secundarios u oportunistas, ya que existe un conjunto de factores derivados del huésped, que conllevan al cambio de esta condición en los microorganismos del microbiota, entre los que se encuentran, las deficiencias inmunológicas, deficiencias nutricionales, enfermedades agudas y crónicas, traumatismos, accidentes, cirugías, y los fármacos. Esto igualmente se relaciona con lo planteado por Uzcátequi (2016) cuando explica, que existen enfermedades que son el resultado del desbalance del microbioma (función del microbiota), como por ejemplo las enfermedades autoinmunes, la diabetes, alergias, enfermedades gastrointestinales, artritis, y posiblemente el cáncer.

Algunos ejemplos, que se derivan del análisis de la Tabla 2, son los siguientes, *Staphylococcus aureus*, que es una bacteria Grampositiva, aerobia o anaerobia facultativa, y que se encuentra como microbiota normal de la piel y membranas mucosas, puede causar una infección o enfermedad secundaria oportunista en la misma piel, cuando por razones directas, se produce un daño en este órgano del cuerpo, lo cual, hace que la bacteria, penetre hacia los tejidos más profundos, dando lugar a una colonización, después infección, que termina en una enfermedad piógena de tipo forunculosa. También esta misma bacteria, puede causar abscesos y lesiones supurativas en otros órganos distantes de su localización inicial, tales como los pulmones. Algo similar ocurre con *Streptococcus pyogenes*, una bacteria Grampositiva, que se encuentra habitualmente en la piel y faringe de los seres humanos, y puede relocalizarse biológicamente, hacia el corazón causando una endocarditis bacteriana.

Asimismo, *Escherichia coli*, una bacteria Gramnegativa, anaerobia facultativa, que habitualmente se encuentra como microbiota del intestino humano, puede transportarse hacia las vías urinarias con mucha frecuencia, causando cistitis, uretritis y nefritis. El otro caso, que resulta muy llamativo es *Neisseria meningitidis*, una bacteria Gramnegativa, aerobia, y que forma parte de la microbiota de la orofaringe, bajo determinadas condiciones derivadas del huésped, puede invadir la región meníngea

y producir meningitis. Y por último, se encuentra *Candida albicans*, un hongo levaduriforme, comensal de la mucosa genital, oral y gastrointestinal, que en personas diabéticas, y expuestas a dosis elevadas de antibióticos o cuando han recibido tratamientos inmunosupresores, estos hongos producen candidiasis en regiones adyacentes o también en órganos más alejados de su localización inicial, en los pulmones.

De esta manera, se explica que al igual que el resto de los organismos vivos, también los microorganismos, logran sobrevivir, adaptándose dinámicamente a los cambios fisiológicos del huésped, siempre en función de la disponibilidad de nutrientes. Estos conviven con el ser humano, porque son ricos en sustancias nutritivas, como: glucosa, proteínas, ácidos grasos, minerales, vitaminas, y oxígeno. De manera que los microorganismos eligen a los seres humanos por razones ecológicas, colonizan cada sitio del cuerpo de forma transitoria o permanente, estableciendo una relación de beneficio mutuo o perjudicial.

Así, los microorganismos que forman parte del microbiota normal de los seres humanos, se hacen imprescindibles para los procesos fisiológicos e inmunológicos. Sin embargo, cuando se violan las normas sanitarias fundamentales, se padece alguna enfermedad, bajo tratamientos inespecíficos, o se produce una ruptura de la piel, entonces, se crean condiciones favorables para las infecciones oportunistas y endógenas, donde los microorganismos penetran en los tejidos, se adhieren y multiplican, produciendo infecciones relocalizadas o sistémicas.

CONCLUSIONES

Se estima que alrededor de 129 especies microbianas, componen el microbiota normal del cuerpo humano. Estas interactúan de manera simbiótica y comensal, siendo las bacterias el grupo microbiano predominante. La mayor colonización se produce en el tracto gastrointestinal y en la cavidad bucal. Las bacterias Grampositivas predominan en la piel, y las Gramnegativas en las mucosas. Las especies más representativas en todos los sitios son *Staphylococcus sp*, *Streptococcus sp*, *Lactobacillus sp*, *Escherichia coli* y *Candida albicans*. Los microorganismos que forman parte del microbiota se convierten en patógenos oportunistas, cuando se rompe el equilibrio físico e inmunológico con el huésped humano, causando relocalización ocasional e infección endógena.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allaire, J.M., Crowley, S.M., Law, H.T., Chang, S.Y., Ko, H.J, Vallance, B, A. (2018). The Intestinal Epithelium: Central Coordinator of Mucosal Immunity. *Trends in Immunology* [Internet] citado 20 de enero de 2023]; 39(9): 677-696. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.it.2018.04.002> .Links
- Brock, T.D. (2015). *Biología de los microorganismos*. 13^a Edición. Michael T. Madigan; Jhon M. Marinko. Pearson Prentice. Hall, Inc. New Jersey. E.U Obra originalmente publicada sob o título Brock biology of microorganisms, 14th edition. ISBN 978 -032-189-739-8 <https://www.google.com/search?>
- De Robertis, E.M. (2012). *Biología Molecular y Celular*. Edición 16 va. Tomo I y II. Buenos Aires. Argentina. ISBN: 978-987-24255-9-3
- Grice, E. A, Segre, J.A. (2023). The skin microbiome. *Nat Rev Microbiol*. [Internet] [citado 20 de enero de 2023]; 9(4): 244– 253. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3535073/pdf/nihms424100.pdf>
- Human Microbiome Project Consortium. (2012). A framework for human microbiome research. *Nature*. 2012 Jun 13;486(7402):215-21. doi: 10.1038/nature11209. PMID: 22699610; PMCID: PMC3377744
- Jawetz, E., Melnick, J.I., Aldeberg, E.A. (2006). *Manual de Microbiología Médica*. Editorial. Centro Nacional de Información de Ciencias Médicas. La Habana. <https://accessmedicina.mhmedical.com/book.aspx?bookID=2955>
- Jiménez, A. S. &. (1986). *Genética Bacteriana*. Editorial. Revolucionaria. Instituto Cubano del Libro. <https://www.google.com/search>
- Llop Hernández, A., Valdés-Dapena Vivanco, M.M., Suazo Silva, J.L. (2001). *Microbiología y Parasitología Médica*. Editorial Ciencias Médicas. ISBN: 959-7132-52-4
- Mateos, P. F. (2004). Relación Huésped –Parásito. Factor de patogenicidad. *Microbiología y Genética*. Facultad de Farmacia. Universidad de Salamanca. España. <http://webcd.usal.es/Web/educativo/micro2/tema17.html>
- Methé, B.A., Nelson, K.E., White, O. (2023). “A Framework for Human Microbiome Research.” *Nature* [Internet] 2012 [citado 22 de febrero de 2023]; 486 (7402): 215–221. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3377744/>
- Murray, P.R., Ken S. Rosenthal., &. Michael A. Pfaller. (2009). *Microbiología Médica. Flora microbiana comensal y patógena en el ser humano*. (6a edición). España: Elsevier-Mosby. pp. 73-76. ISBN 978-84-8086-465-7.
- Moreno del Castillo, M.C., Valladares García, J., Halabe Chrem, J. (2018). Estudio del Microbioma Humano *Rev. Fac. Med (Méx.)* vol.61 no.6 Ciudad de México nov./dic. 2018 <https://doi.org/10.22201/fm.24484865e.2018.61.6.02>

Petrosino, J.F., Highlander, S., Luna, R.A., Gibbs, R.A., Versalovic, J. (2009). Metagenomic pyrosequencing and microbial identification. Clin Chem. [Internet] 2009 May [citado 20 de diciembre de 2023]; 55(5): 856-66. Disponible en: doi: 10.1373/clinchem.2008.107565. Epub 2009 Mar 5. PMID: 19264858; PMCID: PMC2892905.

Pérez Peña Diazconti, M., Serrano Bello, C.A., Valencia Mayoral PF. (2014). Relación Huésped –Parásito. En: Valencia Mayoral PF, Rodríguez JA. Patología. España: McGRAW-HILL INTERAMERICANA.

Rojas, N. H., Pazos, V.A., Coto, O.P. (1988). Microbiología Clínica. Facultad de Biología. Universidad de la Habana. Editorial. Ministerio de Educación Superior. La Habana. ISBN: 9789-5916-1137-6

Uzcátequi, U.O. (2016). Microbioma humano. Rev Obstet Ginecol Venez [Internet]. [citado 20 de diciembre de 2023]; 76(1): [aprox. 3 p.]. Disponible en: <http://ve.scielo.org/pdf/og/v76n1/art01.pdf>

Wagner, G.E. (1990). Flora indígena y natural como barrera de infección .2^{da} Edición .E.U. <https://www.google.com/search?q=Wagner%252C+G.E.+%281990%29+.Flora+ind%C3%ADgena+y+natural+como+barrera+de+infecci>

ANEXOS

Tabla Nro. 1. Distribución y clasificación de los microorganismos por sitios anatómicos.

Sitios anatómicos	Bacterias	Hongos	Virus	Protozoarios	
Sangre, fluidos corporales y cerebro	No existen en condiciones normales	No existen en condiciones normales	No existen en condiciones normales	No existen en condiciones normales	
Piel	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Staphylococcus epidermidis</i> (+) • <i>Staphylococcus aureus</i> (+) • <i>Micrococcus</i> sp (+) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Streptococcus</i> (+) • <i>Mycobacterium</i> sp (BAR) • <i>Corynebacterium</i> sp (+) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Candida albicans</i> • <i>Torulopsis grabata</i> • <i>Pityrosporum orbiculare</i> • <i>Pityrosporum ovale</i> 	No	
Región ocular	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Staphylococcus aureus</i> (+) • <i>Staphylococcus epidermidis</i> (+) • <i>Corynebacterium</i> sp (+) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Streptococcus pneumoniae</i> (+) • <i>Neisseria</i> sp (-) 	• Hongos saprofiticos del aire	No	
Tracto Respiratorio	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Staphylococcus aureus</i> (+) • <i>Staphylococcus epidermidis</i> (+) • <i>Streptococcus salivarius</i> (+) • <i>Streptococcus mutans</i> (+) • <i>Haemophilus influenzae</i>(-) • <i>Streptococcus pneumoniae</i> (+) • <i>Streptococcus mitis</i> (+) • <i>Streptococcus viridans</i> (+) • <i>Bordetella pertussis</i> (-) • <i>Neisseria</i> sp (-) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Neisseria meningitidis</i> (-) • <i>Proteus</i> sp(-) • <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (-) • <i>Lactobacillus</i> sp (+) • <i>Corynebacterium</i> sp (+) • <i>Mycobacterium</i> sp (BAR) • <i>Actinomyces</i> sp (+) • <i>Treponemas</i> sp (-) • <i>Mycoplasmas</i> sp (+/-) • <i>Klebsiella pneumoniae</i> (-) 	No	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Adenovirus</i> (forma latente) • <i>Herpesvirus</i> (forma latente) 	No
Cavidad Bucal	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Streptococcus sanguis</i> (+) • <i>Streptococcus mitis</i> (+) • <i>Staphylococcus epidermidis</i>(+) • <i>Staphylococcus aureus</i> (+) • <i>Actinomyces israelii</i> (+) • <i>Bacteroides</i> sp (-) • <i>Treponema</i> sp (-) • <i>Streptococcus viridans</i> (+) • <i>Fusobacterium</i> sp (-) • <i>Peptostreptococcus</i> sp (+) • <i>Neisseria</i> sp (-) • <i>Lactobacillus</i> sp (+) • <i>Differias</i> (+) • <i>Corynebacterium</i> sp (+) • <i>Streptococcus mutans</i> (+) • <i>Streptococcus salivarius</i> (+) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Streptococcus viridans</i> (+) • <i>Peptococcus</i> sp (+) • <i>Streptococcus faecalis</i>(+) • <i>Streptococcus pneumoniae</i> (+) • <i>Streptococcus pyogenes</i>(+) • <i>Neisseria meningitidis</i> (-) • <i>Enterobacterias</i>(<i>E.coli</i>) (-) • <i>Proteus</i> sp (-) • <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (-) • <i>Haemophilus influenzae</i>(-) • <i>Mycoplasmas</i> sp (+/-) • <i>Veillonella</i> sp (-) • <i>Clostridium</i> sp (+) • <i>Fusobacterium</i> sp(-) • <i>Peptostrectococcus</i> sp (+) 	• <i>Candida albicans</i>	No	• <i>Entamoeba gingivalis</i>
Tracto Genitourinario	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Staphylococcus epidermidis</i>(+) • <i>Streptococcus mitis</i> (+) • <i>Streptococcus faecalis</i> (+) • <i>Staphylococcus aureus</i> (+) • <i>Corynebacterium</i> sp (+) • <i>Lactobacillus</i> sp (+) • <i>Enterococcus</i> sp(+) • <i>Ureaplasma</i> sp(-) • <i>Streptococcus agalactiae</i> (+) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Mycobacterium smegmatis</i> (BAR) • <i>Streptococcus pneumoniae</i> (+) • <i>Neisseria</i> sp (-) • <i>Neisseria meningitidis</i> (-) • <i>Enterobacterias</i>(<i>E.coli</i>) (-) • <i>Proteus</i> sp (-) • <i>Bacteroides</i> sp (-) • <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (-) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Candida</i> sp • <i>Geotrichum</i> spp • <i>Torulopsis</i> sp 	No	• <i>Trichomona vaginalis</i>
Tracto gastrointestinal	<p>Estómago</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Lactobacillus bifidus</i> (+) • <i>Helicobacter pylori</i> (-) <p>Intestino delgado</p> <p>Duodeno</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Lactobacillus</i> sp (+) • <i>Streptococcus</i> sp (+) <p>Yeyuno</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Enterococcus</i> sp(+) • <i>Lactobacillus acidophilus</i> (+) • <i>Corynebacterium</i> sp (+) • <i>Mycobacterium</i> sp (BAR) • <i>Staphylococcus</i> sp (+) <p>Intestino grueso (Colon)</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Lactobacillus acidophilus</i>(+) • <i>Bacteroides</i> sp(-) • <i>Bifidobacterium</i> sp(-) • <i>Escherichia coli</i> (-) • <i>Proteus</i> sp (-) • <i>Klebsiella</i> sp(-) • <i>Pantoea agglomerans</i>(-) • <i>Salmonella</i> sp(-) • <i>Shigella</i> sp(-) 	<p>Ileon</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Lactobacillus</i> sp (+) 	• <i>Candida albicans</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Rotavirus</i> (forma latente) • <i>Enterovirus</i> (forma latente) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Entamoeba dispar</i> • <i>Entamoeba hartmanni</i> • <i>Entamoeba coli</i> • <i>Entamoeba nana</i> • <i>Iodamoeba butschlii</i>

Leyenda: (+) son bacterias Grampositivas; (-) son bacterias Gramnegativas; BAR, significa bacilos ácido resistentes; sp, significa una o más especies que pertenecen al mismo género. **Fuente:** Patrick R. Murray; Ken S. Rosenthal; Michael A. Pfaller. (2009); Nidia, R.H., (1988).