

Relaciones humanas y no-humanas con bacterias endófitas en el desarrollo de biofertilizantes para el cultivo de arroz

Juan Camilo Montoya Díaz

Tutores:

Enrique Jaramillo Buenaventura PhD.

Thaura Ghneim Herrera PhD.

Universidad Icesi

Facultad de Derecho y Ciencias Sociales, Departamento de Antropología

Facultad de Ciencias Naturales, Departamento de Ciencias Biológicas

Valle del Cauca, Santiago de Cali

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi mamá, a mi hermano y a mi papá. El amor que me han tenido ha sido tan grande que les ha dado fuerza para sacrificarse diariamente y con ello han podido brindarme la oportunidad de estudiar con comodidad lo que mi corazón dictó. Lo mínimo que puedo hacer por ustedes es dedicarles este triunfo con todo mi amor.

Asimismo, quiero agradecerle a la vida por la oportunidad que me ha dado para amar, y con ello para sentir, pensar y experimentar el mundo que me rodea desde otra perspectiva. Gracias por lo que me has dado y por lo que me has quitado. Cada día me esfuerzo más por aprender las lecciones que pones en mi camino.

Quiero agradecer a mis tutores, Thaura y Enrique. Ustedes no sólo han sabido guiarme con paciencia, sino que depositaron su confianza en mí y con ello me permitieron sacar este proyecto adelante. Realmente gracias por darme la oportunidad de explorar e intentar. Lo logramos.

Sandra, a ti te agradezco de manera especial por el tiempo y la dedicación que invertiste al acompañarme con la elaboración de todos los experimentos. A tu manera has sabido transmitirme tus conocimientos. Esther, aprecio mucho tu apoyo incondicional, me has ayudado a sentir que mi investigación puede tener un impacto en la vida de las científicas. A las demás chicas del laboratorio, Elisa, Juliana, Katherine, Jose y Luz, que más que compañeras han sido mis amigas, gracias.

También, quisiera agradecer a Anamú, quien me acompañó en mis viajes, me escuchó siempre y me brindó su amor. Hiciste historia en mi vida. A Sabina, que siempre estuvo abierta a dialogar conmigo. A Daniella Castellanos, por ayudarme a ser un mejor etnógrafo. A mis amigues y a todas y todos quienes, de una forma u otra, me han apoyado en este proceso.

Finalmente, gracias a ti, que te interesas por leer esta investigación. Te mando un abrazo grande y la mejor energía del universo.

Tabla de contenido

Introducción	7
Capítulo I	24
1.1. Relaciones de poder entre científicas y bacterias	25
Un contacto indeseado	26

Formas vaciadas	28
Etiquetar para controlar	32
Conclusiones	34
Referencias	36
1.2. El mundo bacteriano según las científicas	39
Lectura de una caja de Petri contaminada	39
Contaminación bacteriana	42
Segregación bacteriana	45
Contaminación biofísica de las bacterias	47
Contaminación simbólica bacteriana	49
Interseccionalidad: ser bacteria y estar contaminada	50
Evitar el encuentro	51
Conclusiones	54
Referencias	57
Capítulo II	59
2.1. Cómo hablar con una bacteria	60
Percibir, interpretar y actuar	61
Medios de cultivo	63
Un nutriente a la vez	69
Siembra de bacterias	72
Lectura de cuerpos bacterianos	75
Conclusiones	77
Referencias	79
2.2. Qué dicen las bacterias	81
Un largo trayecto desde Venezuela	81
Un arsenal de antibióticos	84
Bacterias candidatas	86
Producción de compuestos promotores del crecimiento vegetal	87
Producción de sideróforos	87
Síntesis de auxinas	90
Caracterización de las bacterias	91
SOG23	92
SOG4	95
SOG7	97
SOG32	97
SOG33	99
Conclusiones	100
Referencias	102

Capítulo III	102
Planterias	106
Contacto entre plantas y bacterias	106
Planterias en la creación de nuevos mundos	113
Reflexiones finales	118
Referencias	120
Anexos	126
Capítulo IV	127
Arroceros y productores de biofertilizantes	127
Relación productiva con las bacterias	128
Ecología del arroz	132
Cosificación de las bacterias	133
Economía, ecología y educación	134
Conclusiones	136
Referencias	138

Listado de figuras

Figura 1.1.1. Bacterias conservadas en medio líquido. 27

Figura 1.2.1. Caja de Petri con agar nutritivo donde SOG17, de color amarillo,

crece junto a otro microbio, de color blanco.	41
Figura 1.2.2. Montaje del experimento de clasificación de SOG23 de acuerdo a su grado de pureza/contaminación.	43
Figura 1.2.3. Clasificación jerárquica visoespacial de SOG23 de acuerdo a su grado de contaminación realizada por Vanessa.	46
Figura 1.2.4. Cajas de Petri con bacterias contaminadas descartadas en el tarro de residuos biológicos.	50
Figura 1.2.5. Investigadora empleando guantes para sellar una caja de Petri con parafilm dentro de la cabina de flujo laminar.	52
Figura 2.1.1. Mirada de microorganismos creciendo sobre agar nutritivo.	66
Figura 2.1.2. Agar CAS con pH ácido.	70
Figura 2.1.3. Agar CAS con grumos.	71
Figura 2.1.4. Asa bacteriológica con una colonia bacteriana en su anillo.	73
Figura 2.1.5. Siembra de una bacteria por la técnica de agotamiento.	74
Figura 2.1.6 Bacteria SOG23 creciendo en a. agar nutritivo y b. agar YM.	76
Figura 2.2.1. Evaluación de producción de sideróforos en medio CAS.	
a. Siembra de SOG4 en discos. b. Siembra de SOG4 por estrías. c. Siembra de SOG7 en discos. d. Siembra de SOG7 por estrías. e. Siembra de SOG23 en discos.	
f. Siembra de SOG23 por estrías. g. Siembra de SOG32 en discos. h. Siembra de SOG32 por estrías. i. Siembra de SOG33 en discos. j. Siembra de SOG33 por estrías.	
	89
Figura 2.2.2. Evaluación de síntesis de auxinas. a. SOG4. b. SOG7. c. SOG23. d. SOG32. e. SOG33.	91
Figura 2.2.3. Siembra de bacterias candidatas a formar parte del poli-inóculo.	92
Figura 2.2.4. Tinción Gram de SOG23 vista al microscopio con aumento 100X.	93
Figura 2.2.5. Colonias de SOG32.	99
Figura 3.1. Encuentro entre plántulas de arroz y bacterias endófitas en el laboratorio.	110
Figura 3.2. Montaje para el crecimiento de las plántulas asociadas con bacterias endófitas en el laboratorio.	111
Figura 3.3. Medios de crecimiento de las plantas asociadas con bacterias endófitas	112
Figura 3.4. Comparación del crecimiento de las plantas asociadas con bacterias endófitas.	115

Listado de gráficas

Gráfica 3.1. Promedio de área foliar por tratamiento. 118

Gráfica 3.2. Promedio peso seco radicular. 118

Listado de tablas

Tabla 2.2.1. Identificación de bacterias candidatas a formar parte del biofertilizante. 87

Introducción

“Las transiciones van a ser muy difíciles, y ello involucra apoyar agriculturas existentes que no son tan destructivas, y desarrollando y mejorando sistemas [...] muy diferentes para cultivar arroz que involucren diferentes tipos de seres humanos, diferentes microbios, diferentes peces, diferentes anfibios, diferentes patos y arroz”.

(Haraway, comunicación personal, agosto 9 de 2019).

En la actualidad nos estamos enfrentando ante situaciones antropogénicas con graves repercusiones ambientales. Dichas situaciones son resultado, en parte, de las prácticas de producción que se enmarcan dentro de relaciones de intereses económicos y políticos, en donde se reproducen relaciones verticales entre humanos y no-humanos. Un ejemplo de ello puede verse materializado en las prácticas agrícolas y pecuarias que siguen modelos de producción que buscan obtener altos rendimientos en el menor tiempo posible. Estas actividades se acentuaron con mayor feracidad desde la Revolución Verde, momento en donde se realizó una apuesta por mitigar la hambruna a nivel mundial, para lo cual se generó un sustento en la tecnificación y el desarrollo científico de la agricultura (Shiva, 1993).

Para lograr el objetivo planteado por dichas prácticas, se comenzaron, entre otras cosas, a simplificar las relaciones humanas y no-humanas en los cultivos. Ello puede observarse, por ejemplo, por medio de la selección eugenésica de pocas especies y variedades de plantas para sembrar. De allí que la siembra extensiva y de monocultivo se acompañó del uso de una serie de paquetes tecnológicos de producción para poder ejercer control sobre la vida de las plantas y con ello de obtener aumentos significativos en sus rendimientos (Scott, 1998; Shiva, 1993).

De este modo, un sector de agricultores, de pequeña, mediana y gran escala, han recurrido al uso excesivo de un repertorio de agroquímicos, entre los cuales se incluyen herbicidas, insecticidas, fungicidas y fertilizantes inorgánicos. Por su parte, los fertilizantes inorgánicos son caracterizados por provenir de fuentes como rocas y sales y, en este contexto, por ser producidos a nivel industrial con los procesos y cadenas de suministro que esto implica (Pimentel, 1996). No obstante, aunque su amplio uso haya desplazado otras formas de proveer nutrientes en la agricultura, su aprovechamiento por parte de las plantas aún es precario, como en el caso de los cultivares de arroz, un alimento básico de la canasta familiar de los colombianos. Dadas las condiciones de escasa conveniencia ecológica para cultivar en el contexto de producción en el que se inscribe, el arroz demanda una alta cantidad de nutrientes. De acuerdo con diversas investigaciones, se ha logrado concluir que únicamente entre el 25% y el 50% de los fertilizantes es aprovechado de manera efectiva en la construcción de biomasa por las plantas de arroz (Kraehmer, Thomas, & Vidotto, 2017; Wu et al., 2018; Yameogo, Segda, Dakouo, & Sedogo, 2013). Se estima que estas cifras pueden ser más drásticas en Sur y Centro América debido a las altas temperaturas y a la constante lluvia (Kraehmer et al., 2017). De allí que, como registra Fedearroz, usualmente los arroceros Colombianos se enfrente ante una pérdida económica de hasta el 15% de sus inversiones en la producción de arroz (FEDEARROZ, 2018).

No solo se trata que estos fertilizantes no sean aprovechados de manera efectiva en la construcción de biomasa. Además, el 50% o el 75% restante que no son usados por las plantas conducen a diversos daños ambientales, tales como la emisión de gases de efecto invernadero, la eurotrofización y la acidificación de los suelos. Se estima que la agricultura,

con un gran aporte de los arrozales, es responsable del 47% de las emisiones de óxido nitroso (NO_2) a nivel mundial, un gas con un potencial de calentamiento global 289 veces mayor al que tiene una molécula de CO_2 (Park et al., 2012; Saarenheimo et al., 2015; Shakoor et al., 2018). Por otra parte, la eutrofización, fenómeno caracterizado por la acumulación de altos niveles de nutrientes en cuencas hídricas, genera cambios en la disponibilidad y la calidad del alimento y oxígeno para diversos organismos, lo que conlleva a alteraciones en los ecosistemas (Egea Serrano, 2010; Ferreira, Nascimento-Junior, Santos, Botter-Carvalho, & Pinto, 2015; Foy, 2005; Wu et al., 2018; Yameogo et al., 2013). Finalmente, la acidificación de los suelos conduce a la disminución de la generación de biomasa de las plantas (Kraehmer et al., 2017; McLaughlin, 2016).

A partir de esto, se sugiere que en los modelos de producción que seguimos están condiciendo a la muerte entrópica del planeta (Leff, 2004). En otras palabras, en la actualidad los seres humanos dependemos “de intervenciones tecnocientíficas en curso que no pueden sostener el mundo” (Haraway, comunicación personal, 9 de agosto de 2019). Estos modelos de producción son responsables, pues, de las alteraciones en la cobertura vegetal, la erosión de la biodiversidad, la desaparición de ciertos genotipos y especies, la simplificación de los ecosistemas, la alteración de los flujos biogeoquímicos y los cambios en la composición de los suelos (Issberner & Léna, 2018; Tsing, 2015). Estos impactos son tan profundos, que ha llevado a que algunas biólogas feministas, como Dona Haraway, y a antropólogas preocupadas por las relaciones multiespecie, como Anna Tsing, propongan que las marcas que estas prácticas agrícolas imprimen sobre el planeta podrían constituir

incluso una nueva era geológica, paralela al Antropoceno, denominada como Plantatioceno (Haraway, 2016; Mitman, 2019).

Hay que tener en cuenta que, si bien algunos desarrollos tecnocientíficos han conducido a los daños ecológicos profundos que he presentado, tampoco puede caerse en el error de pensar en los arreglos tecnológicos como enemigos (Haraway, 2016). Es por ello que cuando acudí a un encuentro con la profesora Haraway el año pasado, ella me recordó que para poder gestar estas transiciones y generar un verdadero cambio en los modelos agrícolas es necesario “[...] apoyar a las agriculturas existentes que no son tan destructivas, y desarrollarlas y mejorarlas” (Haraway, comunicación personal, 9 de agosto de 2019). Además, resaltó la importancia de gestar nuevos sistemas “para cultivar arroz que involucren diferentes tipos de seres humanos, diferentes microbios, diferentes peces, diferentes anfibios, diferentes patos y arroz” (Haraway, comunicación personal, 9 de agosto de 2019). Es aquí donde esta tesis se inscribe.

A lo largo de las últimas décadas han surgido diversas estrategias para diezmar las repercusiones ambientales derivadas de emplear estos agrotóxicos. Dichos esfuerzos han sido direccionados, en gran medida, al uso eficiente y/o a la sustitución de tales fertilizantes inorgánicos. De este modo, se ha planteado el uso de microbios, entre los que se encuentran los hongos, las algas y las bacterias, como compañeros de las plantas en la optimización de la captación de nutrientes (Kraehmer et al., 2017). Específicamente, se ha reportado que las bacterias tienen diversas habilidades que resultan benéficas para las plantas, tales como el reducir los niveles de etileno en las raíces, producir fitohormonas, fijar nitrógeno, solubilizar y mineralizar nutrientes, promover resistencia a situaciones de estrés biótico y

abiótico, generar efecto antagónico sobre microbios fitopatógenos y producir vitaminas (Hayat, Ali, Amara, Khalid, & Ahmed, 2010). Bajo este contexto, el Laboratorio de Fisiología Molecular Vegetal de la Universidad Icesi, ubicado en Cali, Colombia, se ha sumado a esta iniciativa desde el año 2011. Thaura Ghneim, investigadora principal del laboratorio, ha realizado una apuesta por desarrollar un fertilizante biológico para plantas cultivares de arroz a partir de bacterias encontradas en plantas de arroz nativas de Centro y Sur América. Enmarcada dentro de los modelos de producción y altos rendimientos descritos, el arroz es la especie que, debido a sus exigencias nutricionales, demanda la mayor cantidad de fertilizantes en el mercado (Kraehmer et al., 2017). Hasta el momento, en el laboratorio de la Universidad Icesi, se había logrado aislar y caracterizar diversas bacterias promotoras del crecimiento vegetal de diversas especies nativas de arroz de América del Sur y Centroamérica. No obstante, aún era necesario evaluar cuáles bacterias, o cepas, iban a ser las candidatas para ser empleadas en el desarrollo del biofertilizante. A mí, estudiante de últimos semestres de biología y antropología, se me encargó la misión de establecerlo.

Debo ser honesto y admitir que en un principio me encontraba abrumado con lo que haría en este proyecto de grado, pues al ser estudiante de dos carreras debía generar un producto que diera cuenta de las competencias profesionales de ambas disciplinas. A pesar de considerarme un buen investigador, aún no sabía de qué manera articularía la antropología a este asunto de los biofertilizantes. Claro, uno puede pensar que hay muchas cosas que llaman la atención al momento de investigar, sobre todo las que están relacionadas al impacto que podría tener el uso de estos microbios en el medio ambiente y

en las relaciones sociales de producción y de consumo. Sin embargo, una cosa es pensarlo y otra es materializarlo en una investigación con las limitaciones propias de un pregrado.

En mi cabeza merodeaban diversos pensamientos, pero había uno que resonaba y comenzaba a tomar fuerza a medida que pasaban los días. Decidí que lo que quería hacer era rastrear la red de actantes humanos y no humanos implicados en el desarrollo de un biofertilizante para la producción de arroz en el Valle del Cauca. Llegué a esta conclusión después de haberme adentrado en los estudios en Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS), un campo dinámico e interdisciplinario donde convergen intereses del estudio de procesos y resultados de la ciencia, cuyos debates influyen en el entendimiento del mundo moderno. Los estudios en CTS estudian cómo el conocimiento científico y los artefactos tecnológicos se construyen a partir de una serie de interacciones sociales, políticas y culturales, es decir, a partir de unos actantes (Sismondo, 2010).

Dicha postura analítica me serviría, pues, para comprender la forma en la que diversos actores estarían relacionando. Desde los actores humanos, como la comunidad científica, las empresas productoras de biofertilizantes y los arroceros, e instituciones y organizaciones como la corporación colombiana de investigación agropecuaria (AGROSAVIA), La Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca del Valle del Cauca (SAAP) y la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ), hasta los actantes no humanos, como las bacterias y las plantas de arroz, se estarían relacionando. De este modo, podría inscribir a los biofertilizantes dentro de un contexto problemático más amplio al vivido en un laboratorio, donde diversos actantes humanos y no-humanos se articulan entre

sí creando una red intrincada de posiciones y controversias, y con ello podría generar una comprensión más integral de dicho contexto.

Metodológicamente, había establecido un riguroso programa donde planeaba realizar diversas entrevistas con personas que pudieran ayudarme a elucidar esta madeja de relaciones y, a su paso, describir a los diversos individuos, comunidades, e incluso mi propio rol como científico. Por un lado, en un sentido estricto biológico, describí, pues, la forma en la que obtendría las cepas bacterianas, los medios de cultivo donde éstas crecerían, los compuestos de promoción del crecimiento vegetal que evaluaría, la forma en la que realizaría los poli-inóculos, cómo obtendría las semillas de arroz, la forma de esterilizarlas y germinarlas, cómo cuidaría de las plantas hasta su inoculación con las bacterias, las medidas que tomaría y el análisis estadístico que realizaría. Por el lado del componente antropológico, había establecido cómo caracterizaría a los actantes y sus controversias a partir de registros documentales, etnografías multiespecie y entrevistas semi-estructuradas, así como el análisis de las relaciones que obtendría de la observación participante en el laboratorio.

A pesar de que tenía una perspectiva teórica que me permitía arropar mis múltiples preocupaciones, aún no era consciente metodológicamente de las cosas en las que me debía fijar al momento de estudiar las relaciones, pensaba que quizás con el tiempo lo descubriría. Empecé a realizar mi trabajo de campo tal como lo había plasmado en mi cronograma, pero al momento de aproximarme a los actantes desde una postura antropológica descubrí que

podría hilar mi investigación con mayor filigrana y tener un mayor impacto, pero, ¿cómo?, ¿por qué?

Las estrategias que buscan generar una transformación en la forma en la que se piensa y practica la agricultura permiten pensar en la creación de escenarios distintos en los que tradicionalmente se encuentran enmarcados; lo que podemos denominar como nuevos mundos posibles, al propiciar un espacio donde se desnaturaliza lo normalizado. No obstante, pensar en la construcción de nuevos mundos posibles con bacterias, como se plantea en esta investigación, puede ser un asunto aún más profundo, pues como tal no solo se promueve el cuidado general del medio ambiente, sino que ello se hace a través de la integración de otros organismos en la misma solución, desde la formación de relaciones humanas y no-humanas más horizontales. Sólo al gestar nuevos tipos de relaciones con otros humanos y no-humanos, viviendo de manera tentacular, viendo más allá de las meras relaciones por ascendencia o genealogía, entrelazados en configuraciones inacabadas de lugares, tiempos, asuntos y significados, reconstruyendo refugios, será posible una recuperación y recomposición del planeta (Haraway, 2015, 2016).

Así pues, trabajar con bacterias abre la oportunidad para pensar en la agricultura no como una actividad que está autocontenido y aislada, sino como una actividad que está integrada a múltiples relaciones sociales y naturales, y enmarañada con cambiantes y diversos contextos. Por ende, si los mismos seres vivos que buscamos proteger empiezan a ser nuestros compañeros, se genera la posibilidad de centrarse también en las formas en las que los humanos nos relacionarnos con estos no-humanos desde la misma práctica. Pensar, pues, en las relaciones que se tejen entre humanos y no-humanos en este contexto no solo

es necesario para garantizar el trato digno de estos seres, y el reconociendo de su propia acción en la red de relaciones, al igual que la coherencia de los fines que busca alcanzar esta actividad agrícola de cuidado de los no-humanos, sino que resulta apropiado para aprovechar este escenario como una oportunidad que nos catapulte a concebir nuevas formas de construir mundo, que sientan y piensen en sintonía con los demás seres que habitan en la tierra.

De este modo, el objetivo de mi investigación se transformó, poco a poco, hasta tomar su forma final: *comprender las relaciones humanas y no-humanas en las que se inscriben las bacterias que hacen parte del desarrollo de un biofertilizante para el cultivo de arroz*. Para ello requeriría, entonces, prestarme a reconocer primero dichas relaciones en sus propios términos, para luego identificar y analizarlas a la luz de la teoría bioantropológica. No obstante, para poder entregar el producto en los plazos establecidos, debía restringir mi investigación al estudio de unos actantes en particular. Decidí, pues, decantarme por estudiar la relación que se gestan dentro del laboratorio con la comunidad científica, las baterías y las plantas. A su vez, introduce el análisis de entrevistas realizadas a productores de biofertilizantes en el Valle del Cauca, que me servirían para pensar los biofertilizantes por fuera del contexto de los laboratorios. Tuve también la oportunidad, como antropólogo y científico natural, de realizar lo que algunos han llegado a denominar una “etnografía multiespecie” (Kirksey & Helmreich, 2010) a lo largo de aproximadamente 18 meses.

Recordemos que en la construcción del saber positivista se requiere de una serie de validaciones que son construidas desde las mismas ciencias naturales, y que del abordaje

“adecuado” de ello, según dictan estos mismos paradigmas, va a depender el carácter de veracidad que se le imprima al conocimiento (Latour & Woolgar, 1979). En el desarrollo de esta investigación me encuentro en una posición privilegiada, como un científico natural ubicado dentro de las mismas centrales de producción de conocimiento que hegemonizan los discursos y las prácticas sociales, políticas, económicas, culturales y ambientales en las que nos envolvemos. Por ello no solo pretendo dialogar desde el lugar donde se producen estas prácticas científicas para aproximarme a las plantas y las bacterias, sino para promover, a partir de mis aportes, formas de relación entre humanos y no-humanos que sean más horizontales, inclusivas y cooperativas, a la par que contribuyo en la deconstrucción misma de determinados discursos científicos. Así pues, las observaciones que aquí se presentan pueden ser vistas tanto como prácticas biológicas que son conscientes de la complejidad del contexto en el que se inscriben sus hallazgos, como reflexiones antropológicas que comprenden y dialogan con las formas en la que se construyen los saberes positivistas.

Este trabajo está organizado en cuatro capítulos que pretenden entretejer la forma en la que diversos humanos y no-humanos comprendemos y nos aproximamos a las bacterias que forman parte de biofertilizantes. En el primer capítulo, *Construcción social de las bacterias y sus mundos*, busco comprender cómo las científicas nos relacionamos con las bacterias que forman parte de biofertilizantes dentro del laboratorio. Este capítulo se subdivide en dos secciones: *Relaciones de poder entre científicas y bacterias* y *El mundo bacteriano según las científicas*. Primero, con el fin de elucidar las relaciones de poder que se gestan entre científicas y bacterias, procedo a exponer un caso de contacto inesperado

entre una investigadora y una bacteria dentro del laboratorio de Fisiología Molecular Vegetal de la Universidad Icesi. Aquí, el interés está centrado en analizar el encuentro entre las científicas y las bacterias a partir de las formas en las que el conocimiento microbiológico y los estigmas sociales han forjado nuestras relaciones. Posteriormente, explico cómo tales interacciones presuponen y reproducen un privilegio de las científicas respecto a las bacterias, lo que aparece como una contradicción frente a los discursos que se promueven dentro del laboratorio. Finalmente, a partir de ello, planteo que una mejor comprensión de las formas de relación entre científicas y bacterias pueden ayudarnos a transitar a estructuras de poder más horizontales entre humanos y no-humanos. En la segunda parte del primer capítulo describo *el mundo bacteriano según las científicas*. Aquí el objetivo es comprender las formas en las que las científicas construimos el mundo de las bacterias. En esta sección presento el análisis del surgimiento de la “contaminación” de las bacterias dentro del laboratorio, a partir de mi trabajo de campo en el Laboratorio de Fisiología Molecular Vegetal de la Universidad Icesi. Con base en ello, explico cómo la interacción compleja entre herramientas tecnocientíficas, hechos sociales y el mundo biofísico de las bacterias determinan la forma en la que se construye el conocimiento alrededor de estos microbios dentro del laboratorio. De este modo, el caso abordado nos permite considerar la complejidad que se presenta al momento de transitar a escenarios más horizontales de relación entre múltiples especies.

En el segundo capítulo, *Sumergidos en el mundo bacteriano*, ofrezco una aproximación al mundo de las bacterias desde sus propias representaciones. Dicho capítulo también se encuentra segmentado en dos partes. En la primera, con *Cómo hablar con una*

bacteria, me propongo elucidar la forma en la que se puede dialogar con las bacterias dentro del laboratorio, para lo cual realizo una observación participativa de las prácticas que mis compañeras y yo realizamos para construir conocimiento con las bacterias. Me fijo en la forma en la que las científicas, metodológicamente, obtenemos información de las bacterias, lo que me permite identificar, principalmente, que las actividades que se gestan alrededor de los medios de cultivo son piezas clave en el diálogo con estos microbios. De este modo, descompongo los principios de la comunicación entre humanos y bacterias a través de la biosemiótica, explico la forma en la que las investigadoras empleamos diversos elementos para generar mensajes, y advierto cómo las bacterias nos retroalimentan tales mensajes a través de sus cuerpos. A su paso reflexiono acerca de por qué se justifica, en términos científicos, la discriminación hacia las bacterias contaminadas y el porqué del control sobre la reproducción de éstas en el laboratorio. En un segundo momento, en *Qué dicen las bacterias*, busco comprender cómo las bacterias se relacionan con otras entidades bacterianas y consigo mismas. A partir de ello presento los resultados de los diálogos establecidos con las bacterias dentro del laboratorio, donde se encuentra, principalmente, que las bacterias son heterogéneas. Ellas son distintas unas de otras, con características físicas, biológicas y sociales diferentes entre sí. Dicha información es útil, a su vez, para proponer las bacterias candidatas a formar parte del biofertilizante desarrollado en el Laboratorio de Fisiología Molecular Vegetal de la Universidad Icesi.

Ahora bien, el entender cómo los humanos, más específicamente las científicas, nos relacionamos y dialogamos con las bacterias, nos provee de habilidades para escalar el proceso y aproximarnos a la forma en la que, específicamente, las plantas de arroz y las

bacterias candidatas a formar parte del biofertilizante se relacionan, lo que compone el objetivo del tercer capítulo, *Planterias*. Para lograrlo, me he propuesto a juntar a las bacterias mencionadas con algunas plántulas de arroz en escenarios que me permitan conocer y analizar la relación gestada. A partir de ello, identifico que, después de incorporar a las bacterias dentro de sí mismas, el cuerpo de las plantas, a través de su crecimiento, exhibe el resultado de la interacción que se gesta entre ambas a nivel interno. De este modo, propongo que estos nuevos seres, parcialmente planta y parcialmente bacterias, a quienes llamo *planterias*, pueden ayudarnos a cristalizar un escenario transitorio en el que se integre la agricultura y la protección del medio ambiente a través de una nueva visión simpoyética de mundo en la que se desvanece la idea de individuo y predomina el trabajo cooperativo entre humanos y no-humanos.

Para finalizar, en el cuarto capítulo, denominado *Arroceros y productores de biofertilizantes*, busco comprender la forma en la que los productores de biofertilizantes y los arroceros se relacionan con las bacterias que forman parte de biofertilizantes. Para ello precedí a contactar y a entrevistar a dos gerentes de empresas productoras de fertilizantes biológicos. . Además, como ellos trabajan junto a agricultores, les pedí me contaran cómo identificaban la relación que se gestaba entre los arroceros y las bacterias. Teniendo esto en consideración, los hallazgos aquí consignados me permiten establecer que factores como la productividad, la ecología del arroz, la cosificación de las bacterias y los capitales económicos, educativos y ambientales de los arroceros, y de los productores de biofertilizantes trazan las relaciones que se entrelazan con las bacterias, y por ello son las principales limitantes en la apropiación de biofertilizantes como estrategia para mitigar los

impactos ambientales y con ello para gestar formas diferentes de aproximarnos a la agricultura y al mundo en general.

Al analizar la información obtenida de manera transversal, podemos apreciar que científicas, bacterias, plantas, arroceros y productores de biofertilizantes tenemos visiones diferentes de las bacterias que forman parte de biofertilizantes, pero si en algo hemos de coincidir, es que para ninguna de nosotras son neutras. En otras palabras, nos aproximamos a las bacterias de diversas maneras, y a partir de eso generamos discursos y prácticas específicas para relacionarnos con ellas. Para las científicas, las bacterias gozan de salud y enfermedad, son puras o contaminadas, y su contaminación nos genera paranoia. Para las mismas bacterias, con unas pueden convivir y con otras no. Para las plantas, algunas son unas excelentes compañeras para crecer en conjunto, con otras solo conviven, y con unas se inhiben. Para los productores de biofertilizantes, las bacterias son seres vivos sintientes y hay unas buenas que ayudan a disminuir los impactos ambientales, y otras malas que causan enfermedad y deben desaparecer. Para algunos arroceros, ellas producen pérdidas económicas y son inoficiosas, pero para otros ayudan a disminuir sus gastos en el largo plazo. Así pues, los discursos que los humanos y los no-humanos tejemos con y sobre estas bacterias coinciden en que unas nos resultan oportunas, otras indeterminadas y algunas inoportunas, y cada una de nosotras cuenta con sus propios mecanismos para determinarlo.

Esta investigación aporta un lente para aproximarse y comprender a las bacterias, más específicamente a las que son empleadas para el desarrollo de fertilizantes biológicos. Así pues, en este periplo los sumerjo conmigo en una travesía para desentrañar el mundo de las bacterias desde distintas perspectivas. Me gustaría que esta etnografía aporte

herramientas para deconstruir las ideas incompletas o prejuiciosas que usualmente se tiene de las bacterias, pues ellas pueden ser nuestras compañeras en la agricultura, así como en nuestro día a día. A su vez, dado que estamos de frente a problemas ambientales profundos, espero aportar con lo que podría ser una solución para reducir el uso de fertilizantes inorgánicos en la agricultura. Finalmente, quisiera contribuir al esfuerzo por cambiar el universo hegemónico en el que muchos vivimos y, con ello, resaltar la necesidad que tenemos de abrir paso a considerar las narrativas de otros seres silenciados dentro de la creación de un universo donde múltiples mundos sean posibles para poder vivir, porque pensar en un solo universo es insuficiente y nos empieza a resultar insostenible.

Uno de los principales retos a los que me enfrenté a lo largo de este proceso fue poder mediar entre dos mundos, para muchos, opuestos: el biológico, que tiene una necesidad incesante por contener el conocimiento por medio de tecnicismos, y el antropológico, que busca hacerlo accesible a las personas. Así pues, hice el mayor esfuerzo que me fue posible por hacer de este trabajo de grado un documento que pudiera ser leído con comodidad por un amplio espectro de personas y que pudiera a su vez conservar su carácter crítico desde ambas disciplinas. De este modo, opté por emplear herramientas de cada una de ellas para construir este producto como muestra de una necesaria hibridación de las ciencias naturales y las ciencias sociales, de la interdisciplinariedad, para complejizar y comprender con mayor precisión la vida.

Asimismo, existieron una serie de dilemas éticos que requirieron de mi atención, tanto en el trabajo con humanos, como con no-humanos. En el primer caso, recurrió a emplear formatos de consentimiento informado al momento de realizar las entrevistas y de

hacer observación participante. Procuré, también, por abrirle un espacio a los pensamientos de las personas de la manera más fiel que pude. Sin embargo, quizá el mayor conflicto de todos, que aún me afecta, es el hecho de haber tenido que trabajar con seres no humanos, bacterias y plantas, sin sus respectivos consentimientos. Por supuesto, esta investigación fue avalada por un comité de ética, que garantiza que el trato que se le da a los seres vivos con los que experimentamos dentro de nuestro laboratorio es digno, pero este permiso aún me es insuficiente para fundamentar mi experimentación.

Muchas veces surcaron por mi mente pensamientos referentes a si debía suspender mi investigación, pues no me sentía bien al disponer de las plantas y las bacterias, extraer la información que necesitaba y, una vez terminados los experimentos, descartar sus cuerpos dentro de un tarro rojo de residuos biológicos, pues perpetuaba la reproducción de las relaciones jerárquicas y déspotas de poder entre estos seres y yo. Para mí, tener que incurrir en estos actos perfectamente podría ser considerado como una forma de opresión y, a su vez, de silenciamiento de estos organismos, de seguirlos tratando como objetos. A pesar de esto, por mi propio bienestar, me hice creer a mí mismo que debía ver mi rol como científico desde una posición diferente. Me decanté a pensar, entonces, que estos experimentos se continuarían haciendo dentro del laboratorio con independencia de si era yo quien los realizara. Sin embargo, yo podría asegurarme de generar el trato más digno a estos seres. Aparte de esto, realicé un esfuerzo por resignificar la muerte, pensándola no como lo contrario de la vida, sino como una parte de esta. Así pues, las muertes, para mí dolorosas, permitirían, paradójicamente, servir como puente para darles una voz a estos organismos que han sido concebidos como objetos y para ayudar en la transformación del

mundo en el que vivimos al evitar la muerte no solo de estas especies, sino de la miríada de seres que habitamos en este planeta.

Referencias

Haraway, D. (2016). *Staying with the trouble : making kin in the Chthulucene*. Duke University Press.

Kraehmer, H., Thomas, C., & Vidotto, F. (2017). *Rice Production Worldwide*. Springer.

https://doi.org/10.1007/978-3-319-47516-5_4

Pimentel, D. (1996). *Green revolution agriculture and chemical hazards. The Science of the Total Environment* (Vol. 188).

[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0048-9697\(96\)05280-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0048-9697(96)05280-1)

Shiva, V. (1993). *The Violence of the Green Revolution: Third World Agriculture, Ecology and Politics*. Zed Books.

Sismondo, S. (2010). *An Introduction to Science and Technology Studies Second Edition* (II). Blackwell.

Capítulo I

Los estudios de ciencia, tecnología y sociedad (CTS) han prestado especial atención a cómo el conocimiento científico y los artefactos tecnológicos se construyen a partir de una serie de interacciones sociales, políticas y culturales (Sismondo, 2010). Esfuerzos más recientes en la intersección de los CTS con la Teoría del Actor-Red (Callon, 1984; Latour, 2005) y la Teoría de Figuras de Cuerda (Haraway, 2015), brindan también la oportunidad de pensar las formas muy concretas en que los fenómenos tecnocientíficos se ensamblan y se enredan con las acciones y propiedades de plantas, bacterias e instrumentos. Sustentándome en estos avances, en el presente capítulo ofrezco una caracterización, descripción y análisis de la construcción social que hacemos las científicas naturales de las bacterias y sus mundos. Esto con el fin de comprender cómo las científicas nos relacionamos con las bacterias que hacen parte del desarrollo de biofertilizantes dentro del laboratorio.

De este modo, el capítulo se divide en dos partes. En la primera parte realizo la etnografía *Relaciones de poder entre científicas y bacterias*, en el cual se expongo las relaciones de poder que se gestan a través de la idea de “contaminación”, las cuales salen a luz a partir del contacto físico de las científicas con las bacterias. Por su parte, con *El mundo bacteriano según las científicas*, ofrezco una aproximación etnográfica a las formas en las que las investigadoras edificamos el mundo social de estos microbios a través de diversas proyecciones de componentes tecnocientíficos, sociales y biofísicos.

1.1. Relaciones de poder entre científicas y bacterias

«Puesto que no podemos tener intimidad con la Tierra bajo un paradigma mecánico, necesitamos urgentemente una Nueva Historia que nos permita reconectar lo sagrado con el universo, lo humano y lo no-humano».
(Escobar, 2016 pp. 27)

Las bacterias se inscriben como sujetos indeseables dentro de los discursos de producción que buscan obtener altos rendimientos de los cultivos en el menor tiempo posible. No obstante, en las últimas décadas la agricultura sustentable ha puesto en el radar a dichos organismos con el fin de resignificarlos y trabajar con ellos para resarcir daños ambientales. Estos discursos permiten, pues, generar una relación más horizontal entre humanos y no-humanos. Bajo este contexto, surge el interés de comprender la forma en la que las científicas, quienes generamos conocimiento sobre las bacterias, nos relacionamos con éstas. Con el fin de elucidar las relaciones de poder que se gestan entre ambas, procedo, primero, a exponer un caso de contacto inesperado entre una investigadora y una bacteria dentro del laboratorio de Fisiología Molecular Vegetal de la Universidad Icesi. Aquí, el interés está centrado en analizar el encuentro entre las científicas y las bacterias a partir de las formas en las que el conocimiento microbiológico y los estigmas sociales han forjado nuestras relaciones. Posteriormente, explico cómo tales interacciones presuponen y reproducen un privilegio de las científicas respecto a las bacterias, lo que aparece como una contradicción frente a los discursos que se promueven dentro del laboratorio. Finalmente, esto me permite plantear que una mejor comprensión de las formas de relación entre

científicas y bacterias puede ayudarnos a transitar a estructuras de poder más horizontales entre humanos y no-humanos.

Un contacto indeseado

Durante mi periodo de trabajo de campo en el laboratorio de Fisiología Molecular Vegetal dediqué varias semanas a la realización y observación participante de experimentos con bacterias promotoras del crecimiento vegetal. Este trabajo, relacionado con mis estudios de pregrado en biología, y más ampliamente con el proyecto de generación de un biofertilizante elaborado a partir de bacterias endófitas, me demandaba realizar un ensayo en el cual debía medir la concentración bacteriana de distintas soluciones. Para ello, procedí a poner una alícuota de cada solución dentro de recipientes pequeños de plástico, llamados celdas. Una vez realizado esto, dispuse cada celda dentro de un espectrofotómetro, artefacto que, con la ayuda de un haz de luz y una serie de cálculos internos, permitía inferir la cantidad y concentración de bacterias que se encuentran dentro de dicha solución.

Al finalizar el procedimiento, que no me llevó mucho tiempo, puse todas las celdas dentro de mi mano izquierda para llevarlas de vuelta a mi puesto de trabajo. Sin embargo, en el camino sucedió algo imprevisto. De alguna manera una celda se escurrió entre mis dedos, cayendo al suelo. En el instante en el que colisionó con la baldosa, la solución bacteriana voló por los aires hasta la mejilla de Luz, una compañera de laboratorio quien trabaja con bacterias en su tesis de maestría. En ese instante, Luz, procurando no mover los músculos de su cara y apretando fuerte su mandíbula en un esfuerzo en vano por evitar que el líquido se esparciera más sobre su rostro, dijo: “¡Qué asco, quítame esto de la cara ya

mismo!” (Gómez, comunicación personal, 22 de agosto, 2019). Mi primera reacción fue de repugnancia y culpa, así que corrí y le traje unas toallas de papel para que se limpiara, no sin antes pedirle una disculpa por el accidente. A su vez, corrí a buscar en el libro de riesgo biológico de nuestro laboratorio la identificación y características de la bacteria que había caído sobre Luz para constatar que no fuese patógena para los humanos. Mientras tanto, Vanessa, otra compañera del laboratorio que se percató de la situación, se burlaba en medio de arcadas diciendo: “¡Qué porquería!” (Reyes, comunicación personal, 22 de agosto, 2019). Luz, enfadada conmigo, se lavó su rostro reiteradas ocasiones con jabón y etanol, y se restregó con tanta fuerza que al finalizar la limpieza su mejilla estaba enrojecida. Al finalizar su proceso de higienización, Luz me dijo “ojalá no me salga un nacido o me vaya a enfermar por esta bacteria, sino te echo la culpa” (Gómez, comunicación personal, 22 de agosto, 2019).

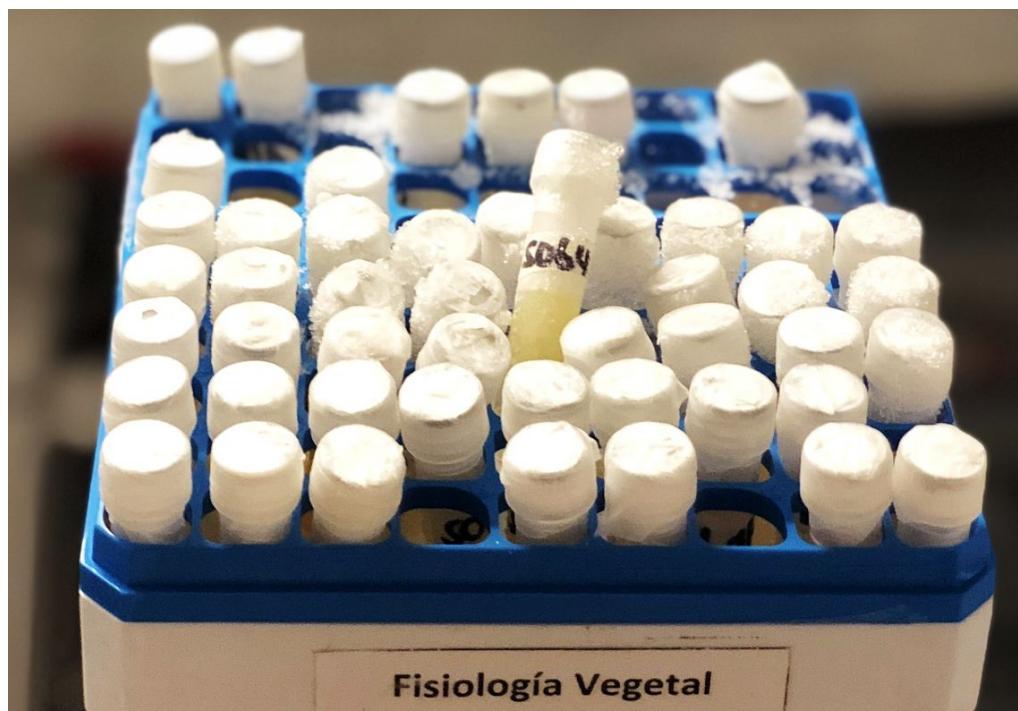


Figura 1.1.1. Bacterias conservadas en medio líquido.

Dentro del laboratorio las científicas creemos que las bacterias, específicamente con las que trabajamos, promueven el crecimiento de las plantas y pueden ser compañeras importantes en los esfuerzos por mitigar los impactos ambientales derivados del uso de fertilizantes inorgánicos a gran escala. Es por ello que en nuestro laboratorio contamos con una línea de investigación específica en la que invertimos miríadas de recursos para probarlo. Asumimos, pues, una relación de horizontalidad con las bacterias, creemos en lo que son capaces de hacer. No obstante, ¿no resulta contradictorio el distanciamiento observado frente a las bacterias a través del asco y el temor a la contaminación respecto al discurso de inclusión que reproducimos las científicas? Es como si las bacterias no fueran contaminantes si se encuentran en las plantas, en la tierra o incluso en las cajas de Petri del laboratorio, pero en el instante en el que interactúan físicamente con nosotras sí lo son. Es importante aclarar que en algunas ocasiones sí puede suceder este fenómeno, ¿pero será así siempre? Lo anterior sugiere que había algo en su misma denominación genérica y en su misma construcción científica como “bacteria” que la hacía potencialmente peligrosa a los ojos de Luz.

Formas vaciadas

La situación vivida en el laboratorio pone en manifiesto diversas cosas. Por una parte, permite ver cómo se mantiene un estereotipo de foco de infección asociado a las bacterias. A su vez, permite ver que las bacterias, tal como lo plantearon Luz y Vanessa, dan “asco”, generan “repugnancia” y son una “porquería”. Finalmente, sirve para

evidenciar cómo los sitios donde habitan las bacterias se constituyen a sí mismos como lugares cargados con diversas connotaciones negativas y deben estar, en la medida de lo posible, alejados de los sitios donde habitan los humanos, pues ellas contaminan todo lo que tocan. De este modo, se permite ver la manera en la que las bacterias viven en un universo donde se encuentran vaciadas constantemente de connotaciones positivas.

Me aventuro a postular que las reacciones de Luz, de Vanessa y la mía son el resultado de un proceso de socialización cultural donde se han difundido y naturalizado diversos estereotipos negativos en torno a las bacterias y demás microbios, tal como ya se ha llegado a sugerir (Curtis, 2007). De acuerdo a Curtis (2007), quien da una mirada diacrónica de la relación vertical que se ha gestado entre los humanos y las bacterias, los estereotipos que tenemos sobre ellas nacen como una suerte de mecanismo de protección frente a las enfermedades infectocontagiosas transmitidas por los microbios. Este cuadro de distanciamiento y discriminación de las bacterias por parte de los humanos se acentuó con la identificación física de tales microbios a través de los experimentos de pioneros en la microbiología e inmunología como Bassi, Koch y Ehrlich (Madigan, Martinko, Dunlap, & Clark, 2009), quienes estuvieron a cargo de la construcción del conocimiento de las bacterias. Es así como se ha postulado que algunas bacterias tienen la capacidad de generar enfermedades con su mera presencia en el cuerpo humano, tales como determinados representantes de los géneros *Burkholderia*, *Campylobacter*, *Escherichia*, *Salmonella* y *Shigella* (World Health Organization, 2008).

Partiendo de lo anterior, en las representaciones de la salud y el cuerpo como un campo de batalla, las bacterias ocupan un lugar de peligrosidad importante. Es por ello que

cuando se construye a las bacterias como peligrosas dentro del imaginario humano, el etiquetar sus cuerpos como contaminados evita que entremos en contacto con ellas y, de esta forma, se elude el peligro, lo que justifica los actos discriminatorios (Douglas, 1973). En este sentido, las reacciones de Luz, de Vanessa, e incluso la mía, no fueron por completo descabelladas y absurdas. No obstante, la bacteria que entró en contacto con Luz, al igual que el resto de microbios del cepario de nuestro laboratorio, era inocua. Y eso era algo que de antemano sabíamos.

Con el fin de explicar el fenómeno presentado con anterioridad, me gustaría tomar prestado los conceptos de “cuerpos vaciados” de los estudios críticos étnicos/raciales, propuestos por la socióloga Aurora Vergara (2014). Con estos conceptos Vergara pretende capturar el proceso a través del cual los relatos alrededor de las comunidades negras/afros tienden a estar desprovistos de características positivas, al tiempo que naturalizan formas de exclusión y discriminación. Es por ello que, reproduciendo estas narrativas “vaciadas”, algunos sujetos pueden llegar a sugerir arbitraria y despectivamente que la gente negra/afro tiene una capacidad intelectual inferior a la de los blancos, o que están más cercanos a un estado de “naturaleza” (Vergara, 2014). De este modo, tales ideas, o estereotipos, vacían de connotaciones positivas los relatos de dichas personas y de sus territorios, presentándolos de manera incompleta, encasillándolos dentro de definiciones racializadas que les asigna posiciones desiguales en la sociedad y les corta las posibilidades de ser (Adichie, 2009; Vergara, 2014). Esta situación que retratamos con humanos es un reflejo de lo que también ha sucedido con no-humanos, como las bacterias. No obstante, en microbiología no se habla de cuerpos, pero sí de formas. Algo que llama la atención de ello es la negación de la

corporalidad de las bacterias, pues no hay una palabra, más allá de *forma*, que se refiera al espacio físico que ocupan sus unidades celulares. Hablar de formas y no de cuerpos, pues, resulta en un doble vaciamiento de ellas.

Se estima que de los virus, bacterias, hongos, protozoos y helmintos que habitan en el planeta solo 1.400 especies son patógenas para los humanos, cifra que difícilmente compone el 1% de la diversidad microbiana total (“Microbiology by numbers,” 2011). Esto es algo que podemos pensar para nuestro laboratorio, pues de las 49 bacterias que componen el cepario de nuestro laboratorio, solo *Pantoea agglomerans* ha sido relacionada como patógeno oportunista en pacientes inmunocomprometidos, aunque estudios moleculares de secuenciación han refutado su comportamiento como patógena (Cruz, Cazacu, & Allen, 2007; Delétoile et al., 2009; Rezzonico, Smits, Montesinos, Frey, & Duffy, 2009). Esto permite evidenciar cómo las ideas que se tienen respecto a una pequeña porción de microbios parece ser lo suficientemente grande como para condicionar la percepción que los humanos, incluso la de quienes trabajamos y convivimos con ellos, tenemos frente a todo el colectivo de microbios. Una vez más, vaciamos los cuerpos de las bacterias a partir de nuestras creencias, dejando a un lado lo que sugiere la evidencia microbiológica.

Los estigmas hacia las bacterias han sido tales que incluso han conducido a que no visibilicemos y no seamos conscientes en muchos casos de los roles importantes que cumplen en el bienestar humano. Dentro de nuestros cuerpos contamos con una amplia variedad de bacterias, las cuales se encuentran en diversas partes de nuestros cuerpos, como la piel, las fosas nasales, la boca, el tracto digestivo, los genitales e incluso la leche materna

(Kumar & Chordia, 2017). Los efectos positivos que generan las bacterias sobre el organismo humano son realmente variados, abarcando desde la inhibición del crecimiento de bacterias patógenas, la preparación del sistema inmune ante microbios indeseados, pasando por la digestión de alimentos, la absorción de nutrientes y la excreción de desechos, hasta la regulación de los ciclos reproductivos, el aumento de la probabilidad de quedar en embarazo y el éxito en el nacimiento vivo de los bebés (Kumar & Chordia, 2017).

Como se puede apreciar, las bacterias son más que agentes deplorables, repulsivos, infecciosos y contaminantes, pero somos los humanos quienes decidimos qué historia contar de ellas. De este modo, el hecho de tender a conocer más de los efectos negativos que los positivos de las bacterias y las mismas ideas de peligrosidad que les atribuimos habla más de nosotros como humanos, de nuestros propios estigmas y de la posición social que les hemos atribuido que de las bacterias *per se*. Con todo esto, es difícil pensar que los cuerpos de estas comunidades bacterianas *sean* vacíos, por el contrario, bien puede afirmarse que *están* vacíos de sus significados y las ideas que difundimos los humanos respecto a éstas están incompletas y son parcializadas, como sucede con las comunidades negras/afros (Adichie, 2009; Vergara, 2014).

Etiquetar para controlar

De acuerdo a lo que observo en el comportamiento de mis compañeras de investigación y en mí mismo, quienes llevamos años trabajando con bacterias, considero que tal explicación, aunque cierta, es insuficiente para explicar en totalidad nuestra

conducta. Recordemos que aunque desde el laboratorio consideremos que las bacterias son nuestras compañeras para mitigar impactos ambientales, y aunque conozcamos los beneficios que ellas generan en el cuerpo humano, continuamos discriminándolas a partir de nuestros procesos de socialización y prácticas culturales en las que nos hemos envuelto.

Con base en estos hechos se dilucida algo, como lo sucedido en los estudios étnicos/raciales, y es que la discriminación de las bacterias no alude, precisamente, a la diferencia de especie *per sé*, que queda corta para justificar la discriminación observada, sino que se basa en las percepciones y las creencias particulares que han sido establecidas para dichas especies (Saldivar, 2012). Así pues, construir el colectivo de bacterias a través de connotaciones negativas es un mecanismo que no solo permite salvaguardar la vida de los humanos, sino que justifica la desigualdad y, a su vez, legitima el privilegio de los humanos respecto a los no humanos.

A partir de lo presentado anteriormente, si bien Luz, Vanessa y yo somos quienes cargamos con los estereotipos alrededor de las bacterias, que podríamos considerar como un tipo de discriminación de los discursos que elaboramos de estos microbios, hay una raíz de discriminación que va más allá de nosotros y nos antecede. Dicho origen puede ser subyacente a la separación tajante que los humanos creamos entre nosotros y los no-humanos, a quienes empezamos a llamar como “naturaleza”, y que catalogamos como “recursos” dignos de explotar (Escobar, 2016; Leff, 2004). Esta suerte de ser superior dominó a partir de la diferencia, y se ha aprovechado de esto desde hace unos siglos para satisfacer intereses económicos. De esta forma, todos aquellos imaginarios de mundo que

no simpatizaran con los intereses de un grupo de humanos en particular no solo fueron ignorados, también se silenciaron (Arias, 2007; Escobar, 2016; Quijano, 2000).

Así pues, se puede ver, entonces, que existen múltiples formas de ver la vida, pero que ha sido principalmente una la que se ha impuesto sobre las demás. Si dicha forma de ver el mundo nos ha conducido a ignorar y silenciar los mundos de otros humanos, también lo ha hecho, con más ahínco, con las narrativas de los no-humanos, como el de las bacterias, y ha sido tan profundo su efecto que quizá para muchos, al haber leído estas palabras, se les hiciera extraño si quiera pensar en que un microbio pueda tener un punto de vista. La discriminación aquí encontrada daría cuenta de una construcción histórica de diferenciación, distanciamiento, dominación y discriminación que nos precede a las científicas y que ha sido llevada a cabo por los humanos bajo un modelo de pensamiento particular por el que se interioriza, se ignora, se silencia y se toma posesión de lo diferente (Escobar, 2016). La idea de contaminación, pues, enmascara las relaciones de poder.

Conclusiones

Si bien las investigadoras consideramos que las bacterias son importantes en la construcción de un mundo mejor donde se preserve la vida de otros seres vivos, la principal forma de relación entre humanos-bacterias que se gesta dentro del laboratorio es a través de la idea de contaminación. De este modo, reproducimos diversas formas de discriminárlas cuando entramos en contacto directo con ellas. Dicha discriminación conduce a que sus cuerpos, mal llamadas formas, sean vacíados de contenidos positivos, lo que representa una forma de sesgar la vida de las bacterias y con ello no solo se impone una barrera para

generar una relación más equitativa con tales microbios, sino que se silencia sus historias.

De este modo, la relación que se construye con las bacterias por parte de las científicas no es completamente vertical, como la que suelen tener una gran proporción de humanos, pero tampoco es tan horizontal, como lo que sugerimos a través de nuestros discursos.

El porqué de nuestro comportamiento se explica a través de una relación histórica de distanciamiento entre los humanos y las bacterias por temor a la morbilidad y mortalidad por su contacto. A pesar de ello, dicha separación en la actualidad carece de bases científicas sólidas y se basa más en estigmas sociales. Por otra parte, etiquetar a las bacterias como “contaminadas” nos ha permitido, al colectivo de humanos, justificar nuestro despotismo. La contaminación, pues, enmascara las relaciones de poder horizontales por medio de las cuales nos relacionamos los humanos con las bacterias.

En lugar de pensarnos a nosotras las investigadoras como personas contradictorias, debido a que continuamos reproduciendo la discriminación por medio de las relaciones de poder dentro de nuestros laboratorios, podría vérsenos como seres que mantenemos una lucha constante contra los pensamientos que se nos ha inculcado nuestro contexto cultural y que se han arraigado de manera tan ferviente dentro de nuestro ser. Por supuesto, aún tenemos un recorrido arduo que exige deconstruir los estereotipos que cargamos de nuestras compañeras bacterianas y resignificar sus cuerpos, debemos corregir de manera profunda nuestros pensamientos y nuestros comportamientos. No obstante, también hay que reconocer que las científicas hacemos grandes esfuerzos por reivindicar la posición de las bacterias en el planeta a través de un modelo viable de producción agricultura. Los aportes de esta investigación sirven como herramienta para generar conciencia sobre la forma en la

que estamos entretejiendo los vínculos entre científicas y bacterias, con el fin de pensar en formas más horizontales de relación entre humanos y no-humanos para hacer de la agricultura y del mundo un espacio cada vez más sustentable.

Referencias

- Adichie, C. (2009). *The danger of a single story*. TED. Retrieved from
https://www.ted.com/talks/chimamanda_adichie_the_danger_of_a_single_story/up-next
- Arias, J. (2007). *Nación y diferencia en el siglo XIX colombiano: Orden nacional, racialismo y taxonomías poblacionales*. Bogotá: Universidad de los Andes. Retrieved from
https://publicacionesfaciso.uniandes.edu.co/sip/data/pdf/Nacion_y_diferencia_siglo_XIX.pdf

Callon, M. (1984). Some elements of a sociology of translation : domestication of the scallops and the fishermen of St. *Sociological Review*, 32, 196–233.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1467-954X.1984.tb00113.x>

Cruz, A. T., Cazacu, A. C., & Allen, C. H. (2007). Pantoea agglomerans, a plant pathogen causing human disease. *Journal of Clinical Microbiology*, 45(6), 1989–1992.

<https://doi.org/10.1128/JCM.00632-07>

Curtis, V. (2007). Dirt, disgust and disease: a natural history of hygiene. *Journal of Epidemiology and Community Health*, (61), 660–664.

<https://doi.org/10.1136/jech.2007.062380>

Delétoile, A., Decré, D., Courant, S., Passet, V., Audo, J., Grimont, P., ... Brisson, S. (2009). Phylogeny and identification of Pantoea species and typing of Pantoea agglomerans strains by multilocus gene sequencing. *Journal of Clinical Microbiology*, 47(2), 300–310. <https://doi.org/10.1128/JCM.01916-08>

Douglas, M. (1973). *Pureza y Peligro: Un análisis de los conceptos de contaminación*. Madrid: Siglo XXI.

Escobar, A. (2016). Sentipensar con la Tierra: Las Luchas Territoriales y la Dimensión Ontológica de las Epistemologías del Sur. *AIBR, Revista de Antropología Iberoamericana*, 11(1), 11–32. <https://doi.org/10.11156/aibr.110102>

Haraway, D. (2015). Anthropocene, Capitalocene, Plantationocene, Chthulucene: Making Kin. *Environmental Humanities*, 6, 159–165. Retrieved from

Kumar, A., & Chordia, N. (2017). Role of Microbes in Human Health. *Applied Microbiology: Open Access*, 3(2), 129–131.

<https://doi.org/10.4172/2471-9315.1000131>

Latour, B. (2005). *Reassembling the Social: An introduction to Actor-Network-Theory*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1163/156913308X336453>

Leff, E. (2004). *Racionalidad Ambiental*. Siglo XXI.

Madigan, M. T., Martinko, J. M., Dunlap, P. V., & Clark, D. P. (2009). *Brock. Biología de Los microorganismos* (12th ed.). Pearson.

Microbiology by numbers. (2011). *Nature Reviews Microbiology*, 9(9), 628.

<https://doi.org/10.1038/nrmicro2644>

Quijano, A. (2000). Colonialidad del poder, eurocentrismo y América Latina. In E. Lander (Ed.), *La colonialidad del saber: eurocentrismo y ciencias sociales: perspectivas latinoamericanas* (1st ed., pp. 201–245). Buenos Aires: CLACSO. Retrieved from <https://www.tni.org/files/download/La%20colonialidad%20del%20saber.%20Eurocentrismo%20y%20ciencias%20sociales.pdf>

Rezzonico, F., Smits, T. H., Montesinos, E., Frey, J. E., & Duffy, B. (2009). Genotypic comparison of *Pantoea agglomerans* plant and clinical strains. *BMC Microbiology*, 9. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-9-204>

Saldivar, E. (2012). Racismo en México: apuntes críticos sobre etnicidad y diferencias

culturales. In A. Castellanos-Guerrero & G. Landázuri-Benítez (Eds.), *Racismos y otras formas de intolerancia de Norte a Sur en América Latina*. Universidad Autónoma Metropolitana.

Sismondo, S. (2010). *An Introduction to Science and Technology Studies Second Edition* (II). Blackwell.

Vergara, A. (2014). Cuerpos y territorios vaciados: ¿En qué consiste el paradigma de la diferencia? *¿Cómo pensamos la diferencia?* CS, 340–358.

World Health Organization. (2008). Microbial aspects. In *Guidelines for Drinking Water Quality* (pp. 121–144). Retrieved from

http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en/

1.2. El mundo bacteriano según las científicas

“*El bienestar del objeto primario de cuidado entonces requiere que las necesidades de las entidades que comprenden la red de cuidado estén satisfechas del mismo modo; ellas también demandan cuidado*”
(Krzywoszynska, 2019, pp. 664-665).

La aparición de las bacterias como especies compañeras dentro de la agricultura sustentable abre un espacio de reflexión bioantropológica, pues, si cuidamos a las bacterias, por extensión estamos cuidado a las plantas y al medio ambiente.

Sustentándome en esto, y con el fin de comprender las formas en las que las científicas construimos el mundo de las bacterias, en esta sección presento el análisis del surgimiento de la “contaminación” de las bacterias dentro del laboratorio, a partir de mi trabajo de campo en el Laboratorio de Fisiología Molecular Vegetal de la Universidad Icesi. Con base en ello, explico cómo la interacción compleja entre herramientas tecnocientíficas, hechos sociales y el mundo biofísico de las bacterias determinan la forma en la que se construye el conocimiento alrededor de estos microbios. De este modo, el caso abordado me permite considerar la complejidad que se presenta al momento de transitar a escenario más horizontales de relación entre múltiples especies.

Lectura de una caja de Petri contaminada

Hace unos meses en el laboratorio, mientras realizaba mi investigación respecto a la generación de un fertilizante biológico a partir de bacterias promotoras del crecimiento vegetal, me encontré con sorpresa que los agentes contaminantes como las bacterias también podían contaminarse. Lo interesante es que la forma en la que éstas podían llegar a contaminarse era algo completamente naturalizado dentro de nuestro laboratorio, y era precisamente por ello que siempre lo había pasado por alto a lo largo de tantos años. Ese día había estado trabajando desde temprano con el fin de iniciar un nuevo experimento. En concreto, el ensayo consistía en cultivar 48 especies de bacterias que componen el

cepario de nuestro grupo de investigación sobre agares nutritivos en sus respectivas cajas de Petri. El agar nutritivo tiene, por una parte, los nutrientes necesarios para el crecimiento de diversos microbios, y a su vez contiene un compuesto que al solidificarse da lugar a una suerte de gelatina sobre la cual crecen las bacterias. Una vez realicé la siembra de las bacterias deposité las cajas de Petri dentro de un horno a 27° por 48 horas; temperatura adecuada para el crecimiento de la mayoría de bacterias con del cepario de nuestro laboratorio, y tiempo suficiente para observar el crecimiento de colonias de bacterias a nivel macroscópico.

Las colonias se distinguen al ojo humano como puntos aislados ubicados sobre la superficie del medio de cultivo de las cajas de Petri. Estas están formadas por una única célula de un microrganismo, conocida también como una unidad formadora de colonia, o simplemente UFC, por sus siglas. Dentro de cada colonia se pueden encontrar decenas de millones de microorganismos, y, dependiendo del tipo de microbio y de las condiciones de crecimiento, las colonias se caracterizan por tener tamaños, olores, colores, formas y texturas particulares. Fue gracias a estos patrones que al finalizar el tiempo de espera y sacar las bacterias del horno noté que dentro de cada caja de Petri crecían diversas poblaciones bacterianas. Según mi criterio, y de acuerdo a lo que esperábamos, cada población provenía de individuos de una única especie; era lo que en microbiología se conoce como un “cultivo axénico”. Sin embargo, dentro de una caja, además de la bacteria que denominamos dentro de nuestro laboratorio como SOG17, que forma colonias amarillas, apareció también una colonia blanca de otro microbio (**Figura 1.2.1**).

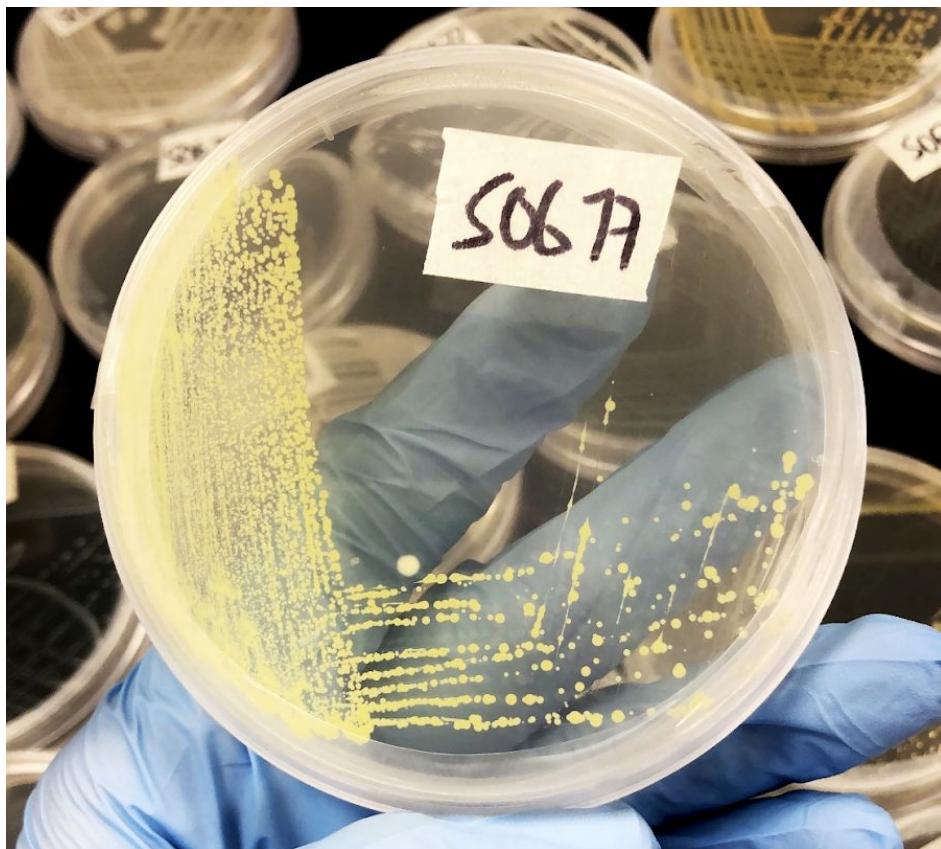


Figura 1.2.1. Caja de Petri con agar nutritivo donde SOG17, de color amarillo, crece junto a otro microbio, de color blanco.

Al ver la caja de Petri, Sandra, la biotecnóloga que me guía en el desarrollo de mis experimentos, dijo con un ademán de repugnancia: “¡Uy, esa bacteria se le contaminó!” (Moreno, comunicación personal, 10 de junio, 2019). Y, acto seguido, descarté la caja de Petri dentro del tarro de desechos biológicos del laboratorio, como solemos hacer. Sin embargo, este acto tan naturalizado para mí como biólogo no pasó desapercibido en mi libreta etnográfica, pues aunque me era claro por qué la presencia de otro microbio sobre el agar nutritivo conducía a problemas en la confiabilidad de los datos obtenidos en la experimentación, me inquietaba analíticamente cómo podía

realmente *contaminarse* una bacteria, y por qué ello podía ser usado para sesgar algunos elementos de la vida de éstas. El hecho de decantarnos por emplear el término “contaminación”, es algo que nos puede aportar información acerca de la posición desde donde la comunidad científica hemos construido la comprensión sobre las bacterias.

Contaminación bacteriana

Partiendo del hecho de que se pueden estudiar las relaciones éticas de los humanos con los no-humanos a través de las ideas de impureza y las prácticas que acarrea (Lorimer, 2017), me propuse a realizar otro experimento con el fin de analizar ya no el comportamiento de las bacterias, sino la forma en la que las científicas creábamos el mundo de las bacterias. Mi objetivo era indagar, pues, en qué momento y condiciones una bacteria podía llegar a ser catalogada como contaminada dentro del laboratorio. Para esto dispuse en 5 cajas de Petri un cultivo axénico (o “puro”) de la bacteria SOG23, muy distintiva por su coloración rojiza. La primera únicamente tenía presencia de SOG23, la segunda de SOG23 y SOG7, la tercera de SOG23, SOG4 y SOG23, la cuarta de SOG4, SOG7, SOG23 y SOG32 y la quinta con SOG4, SOG7, SOG23, SOG32 y SOG33. Después de haber facilitado la incubación de las bacterias a 27°C por dos días, procedí a ponerlas sobre un mesón de manera aleatoria, cada una rotulada con el nombre “SOG23”, y les pedí a mis compañeras del laboratorio que me ayudaran en su clasificación. Partí del siguiente enunciado prescriptivo:

“Dentro de estas cajas de Petri, sobre agar nutritivo, crece SOG23, de color rojo. Organiza las cajas de Petri de acuerdo al grado de contaminación de

SOG23, rotulándolas con un número del 1 al 5, siendo donde 1 la menos contaminada y 5 la más contaminada.”

Al lado de las bacterias dispuse diversos papeles con números del 1 al 5, con el fin de que pudieran emplearlos para clasificar a las bacterias, tal como se muestra en la

Figura 1.2.2. Los criterios de inclusión dentro del experimento fueron personas que trabajaran dentro del laboratorio de Fisiología Molecular Vegetal y que estuvieran familiarizadas con el cultivo de bacterias ($n=5$).

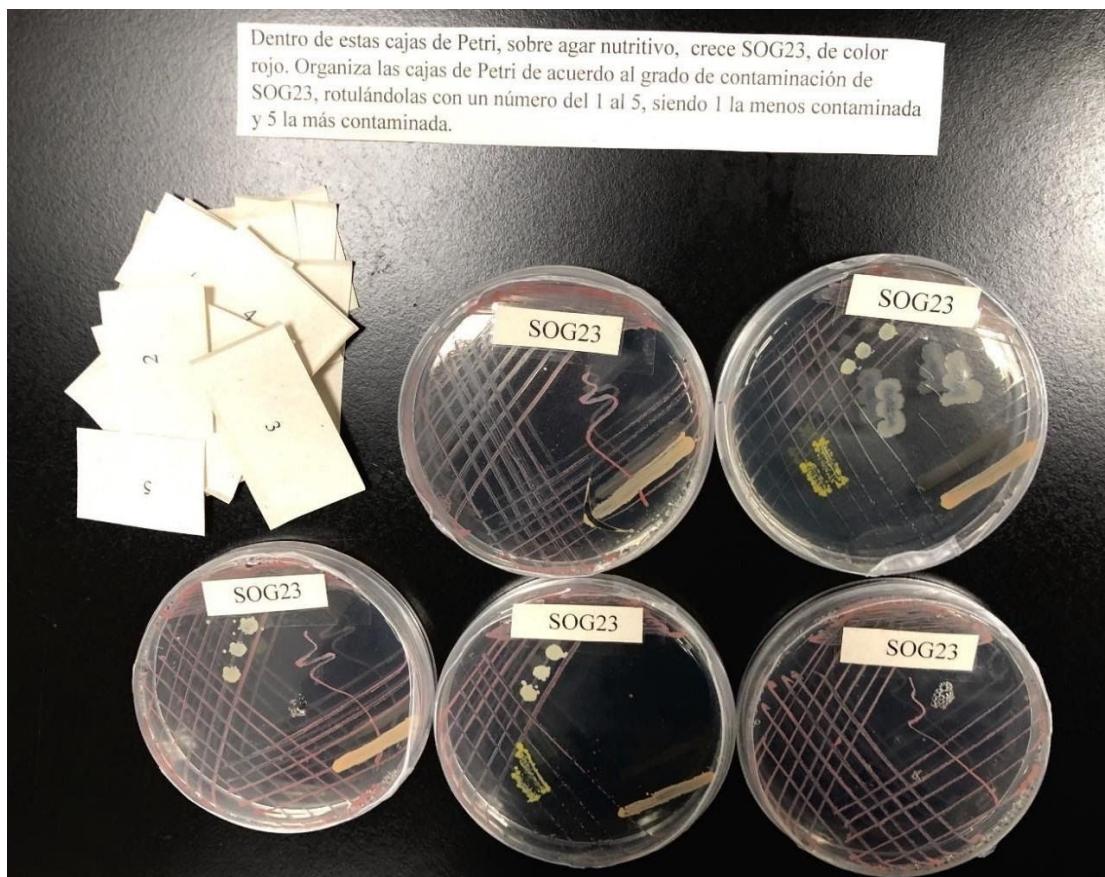


Figura 1.2.2. Montaje del experimento de clasificación de SOG23 de acuerdo a su grado de pureza/contaminación.

Después de leer la prescripción del mensaje, las investigadoras tomaron las cajas de Petri, las pusieron a la luz y examinaron meticulosamente ambas caras de las cajas con

el fin de leer el contenido de éstas y clasificarlas. De acuerdo a la información obtenida con este experimento, todas las investigadoras determinaron que la caja de Petri menos contaminada era aquella que contaba solo con la presencia de SOG23, la cual rotularon con el número 1. Dentro del laboratorio tendría sentido que las investigadoras, como resultado de nuestros procesos de socialización y nuestras prácticas culturales, denomináramos a todo aquello que en general contenga un microbio como una contaminación, y es por ello que desde el enunciado mismo advierto que todas las bacterias se encuentran contaminadas (Curtis, 2007). No obstante, la mayoría de las científicas ($n=4$) realizaron una precisión al momento de dar su respuesta, pues dijeron que la caja de Petri donde sólo crecía SOG23, tal como lo dijo Lina, “no está [ba] contaminada” (Guevara, comunicación personal, 16 de diciembre, 2019). Tal parece ser que nuestro proceso de deconstrucción respecto a la forma en la que vemos a los microbios es tal que a los cultivos donde crecen organismos de una única especie les llamamos, como ya se mencionó, cultivos axénicos o cultivos puros, no cultivos contaminados. Esto permite determinar que la presencia de una bacteria no es suficiente para que se considere que existe una contaminación dentro del laboratorio, pues si se trata de un microbio deseado esto lo hace un cultivo axénico.

Cuando se observaba la presencia de una colonia de un microbio que las investigadoras consideran que era *indeseado* surgía la contaminación, pues, como lo sugirió Vanessa, “Lo que no fuera de color rojo [SOG23] significaba contaminación. Si hay una cepa diferente [a SOG23] ya hay contaminación” (Reyes, comunicación personal, 16 de diciembre, 2019). Esto demuestra que, aunque sean microbios, dependiendo de los

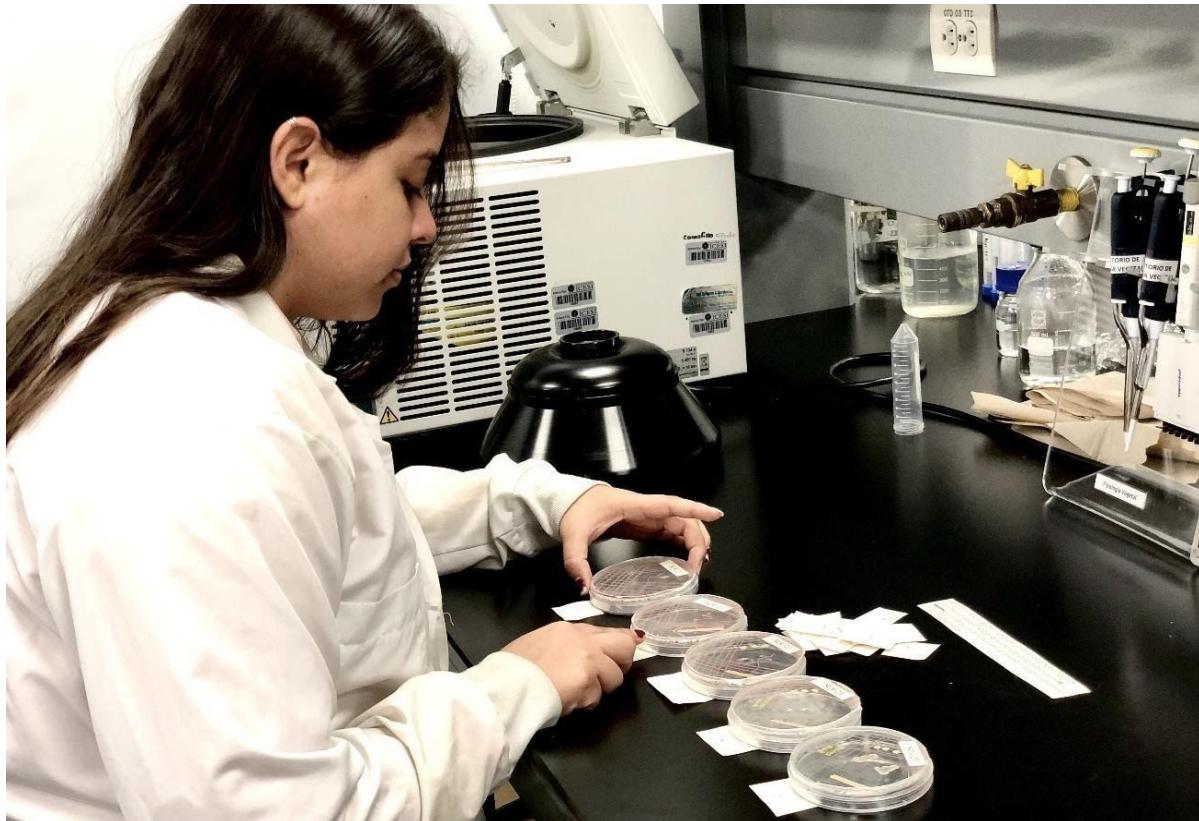
propósitos de la muestra y del experimento habrá unos que estén contaminados y otros que no. Es por ello que si en la caja de Petri se encuentran los microbios que se espera tener, sea una sola especie (cultivos axénicos, o “puros”) o varias (cultivos mixtos), no hay contaminación, pero basta que una colonia sea indeseada para que se materialice la contaminación. Con todo esto, uno podría aventurarse a afirmar, tal como lo llegó a hacer Douglas (1973), que “contaminación” es una expresión usada en el laboratorio particularmente cuando una bacteria está fuera de su lugar asignado estructuralmente.

Algo importante de mencionar, es que el descarta a las bacterias contaminadas dentro del tarro de residuos biológicos representa una muerte simbólica. Lo anterior debido a que las bacterias permanecen vivas y no sufren de daños físicos, mecánicos o químicos infringidos de manera directa por los investigadores, a diferencia de lo sucedido con la muerte de las babosas en las manos de jardineros (Ginn, 2014). Cuando desechamos las bacterias también estamos descartando las cajas de Petri y los medios nutritivos, lo cual asegura que los microbios seguirán viviendo por un tiempo indeterminado y que el crecimiento de sus poblaciones se alterará en la medida en que cambie la cantidad de nutrientes disponibles. Esto, en algún momento, conducirá a que los microbios envejezcan y mueran dentro de las mismas cajas de Petri.

Segregación bacteriana

Las ideas de segregación de bacterias a partir de sus grados de contaminación son tan profundas que incluso llevan a que las científicas quieran separar a las cajas de Petri contaminadas espacialmente. Al momento de realizar el experimento de clasificación de las bacterias a partir de su grado de contaminación tres investigadoras rotularon las cajas

según sus criterios de contaminación y las dejaron en la misma posición aleatoria en la que fueron dispuestas inicialmente (**Figura 1.2.2**). No obstante, dos de ellas, Vanessa y



Juliana, decidieron tomar las bacterias y las dispusieron en un espacio diferente, donde las ubicaron de manera horizontal sobre el mesón. Esta nueva ubicación dada por las científicas no fue yuxtapuesta, pues si bien estaban unas al lado de otras, éstas fueron posicionadas de acuerdo al grado de contaminación que ellas mismas asignaron. Ello permitió ver una suerte de gradiente visoespacial de contaminación, pues en el extremo izquierdo se ubicaba la bacteria menos contaminada, o la bacteria pura, y al polo derecho estaba situada la caja de Petri considerada como la más contaminada (**Figura 1.2.3**).

Figura 1.2.3. Clasificación jerárquica visoespacial de SOG23 de acuerdo a su grado de contaminación realizada por Vanessa.

La forma en la que Juliana y Vanessa decidieron organizar las cajas, si bien pudo haber sido inconsciente, permite evidenciar cómo aún se conservan ideas de segregación visoespacial entre unos individuos y otros. Algo de resaltar es que las cajas de Petri permiten materializar la barrera que separa de forma tajante el espacio donde se confinan las bacterias y que impide que se sobrepongan espacialmente entre ellas. Así pues, podemos postular son las ideas que se tienen respecto a las bacterias y las nociones humanas respecto a su orden social a partir de sus grados pureza/contaminación lo que hacen que las científicas acudan a disponer las bacterias en posiciones particulares y con una tendencia clara. No se trata, pues, de un orden aleatorio de ubicación, pues es clara la forma en la que las bacterias más “contaminadas” se encuentran espacialmente más alejadas de las más “puras”.

Contaminación biofísica de las bacterias

Como se ha presentado, la presencia de una bacteria indeseada conduce a la contaminación de las bacterias de estudio, lo que suscita un interés en comprender por qué su mera presencia conduce a tal contaminación. Algunas bacterias, además de la reproducción asexual por medio de la fisión binaria, pueden reproducirse con otras especies de microbios, los cuales podrían ser los microbios indeseados, vía reproducción parasexual con la transformación, la transducción y la conjugación (Clark & Pazdernik, 2013). El problema con la contaminación parasexual de las bacterias radica en que en nuestros experimentos evaluamos cuál es el efecto de unas especies de bacterias en específico. Si existe un cruce genético entre dos especies de bacterias y empleamos esas progenies dentro de los ensayos de laboratorio, la información obtenida no sería resultado

de la especie de interés, sino de la especie de interés más los genes intercambiados con la bacteria indeseada, lo que conduciría a sesgos en los resultados de la investigación. De este modo, una primera forma de contaminación de las bacterias que se estudian está determinada por la reproducción parsexual que puede tener a lugar entre ellas.

Un segundo tipo de contaminación de las bacterias es la que se da por contacto con sustancias segregadas por otros microbios. Las bacterias, aunque sean tan irrisorias en nuestro entender, también gozan de salud y de enfermedad. Ellas tienen sus ciclos de vida, con momentos de crecimiento óptimos y fases de envejecimiento poblacional, y las condiciones en las que éstas crecen inciden sobre sus capacidades de respuesta en diferentes escenarios (Chen & Shakhnovich, 2010; Gullian-Klanian & Sánchez-Solis, 2018). Es por ello que la presencia de un microrganismo indeseado puede modular de diversas formas las condiciones de crecimiento de las bacterias cultivadas debido a la acción del vademécum de sustancias que pueden segregar sobre el agar nutritivo (Pérez-y-Terrón, Gonzalez-Montfort, & Muñoz-Rojas, 2014).

Desde el laboratorio, para poder comprobar el estatus de contaminación parsexual y de contaminación por contacto con sustancias segregadas por otros microbios con certeza requeriríamos del uso de microscopios y de diversas pruebas bioquímicas, moleculares y genéticas. De este modo, aunque haya presencia de una bacteria indeseada no implica necesariamente que haya tenido a lugar alguno de los dos tipos de contaminación mencionados. A pesar de ello, como observamos en el experimento, no es necesaria una prueba empírica más allá de observar la presencia de otra especie de microbio creciendo en conjunto con la bacteria de estudio para saber su

estatus de contaminación. Con todo esto, ¿por qué las científicas afirmamos con tanta seguridad que las bacterias se encuentran contaminadas si lo hemos comprobado bajo nuestros esquemas de producción de conocimiento?

Contaminación simbólica bacteriana

Hasta el momento, para lograr entender cómo es que surge tal contaminación nos hemos enfocado en comprenderlo a partir de cómo se entendería bajo el paradigma científico. Si bien pensar bajo estos modelos nos permitió ahondar en unos asuntos, no permite explicar a profundidad el porqué de la contaminación de las bacterias de estudio. Es por lo anterior que opté por emplear la psicología para realizar una aproximación, a mi juicio, más precisa del comportamiento observado de las científicas.

Dentro del laboratorio, reconocemos que las bacterias que etiquetamos como indeseados son los vehículos de la contaminación, es decir, sabemos que dichos microbios son los que contaminan a las bacterias de estudio. Debido a esto, ciertamente podemos catalogar a los microbios indeseados como objetos definidos, pues sabemos quiénes son y están ubicados en un espacio en particular (Duque, Uribe, & Vásquez, 2005). No obstante, no podemos decir lo mismo de la contaminación. La contaminación, sea parosexual o por el contacto con sustancias segregadas por los microbios indeseados, tiene una ubicación incierta, pues, como expresé con anterioridad, rastrearla es difícil. A partir de ello, puede plantearse que la contaminación *per se* es un objeto indefinido (Duque et al., 2005). La presencia de este objeto indefinido conduce a una suerte de

angustia por parte de las científicas en el laboratorio, ya que requerimos evitar la contaminación, pero no sabemos dónde se encuentra ubicada con exactitud.

Con el fin de eludir la angustia resultada de la contaminación, y de evitar las grandes inversiones de tiempo y de dinero inoficiosas que conllevaría descubrirlo, etiquetar a toda la caja de Petri como contaminada cuando existe la presencia de microbios indeseados, y con ello también a la bacteria de estudio que ahí crezca, permite materializar, definir, contener y evitar la incertidumbre generada por el objeto indefinido, de la contaminación. Es por ello que no es necesario comprobar la existencia de una contaminación parosexual o de una contaminación por el contacto con compuestos provenientes de los microbios indeseados para denominar el cuerpo de una bacteria como contaminado. Debido a que los argumentos generados a partir de las ciencias naturales únicamente permiten sustentar la existencia de la contaminación puntual, mas no de toda la caja de Petri y de la miríada de bacterias que ahí habitan, y teniendo en cuenta los argumentos presentados con anterioridad, bien podría postularse que la contaminación de las bacterias tiene tanto de biofísico como de simbólico.

Interseccionalidad: ser bacteria y estar contaminada



Figura 1.2.4. Cajas de Petri con bacterias contaminadas descartadas en el tarro de residuos biológicos.

Como se ha presentado a lo largo del texto, las científicas definimos unos criterios específicos que nos permiten determinar si una bacteria está contaminada. A partir de ello, posicionamos a las bacterias contaminadas en escalafones inferiores respecto al de las bacterias puras. Teniendo en cuenta que socialmente está mal conservar y estar cerca de aquello que está contaminado (Curtis, 2007; Douglas, 1973), podemos comprender por qué es posible que dichas bacterias sean arrojadas dentro de los tarros de residuos biológicos sin hesitar (**Figura 1.2.4**). Aquí, se ilustra cómo el darwinismo social continúa permeando los pensamientos de científicos en el siglo XXI, pues es a partir de dicha clasificación que realizamos que decidimos cuáles bacterias son aptas para vivir y cuáles deben ser descartadas en el tarro de residuos biológicos (Gould, 1980). Además de ello, el

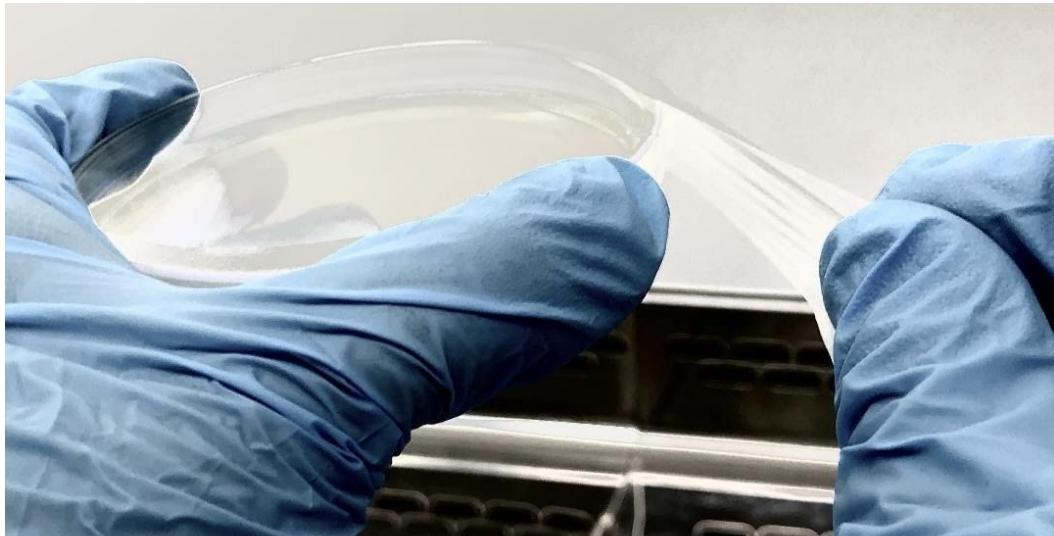
descartar a las bacterias está determinado por considerar, a su vez, que los humanos nos ubicamos en una posición de privilegio respecto a las bacterias.

Evitar el encuentro

Como se ha podido observar hasta el momento, los encuentros con las bacterias que son indeseadas interfieren dentro de los experimentos que se realizan dentro del laboratorio. Es por ello, tal como sucede con los jardineros y las babosas (Ginn, 2014), que la comunidad científica invierte tiempo y dinero con el fin de evitar tener que toparse con las bacterias indeseadas. Los esfuerzos por evitar la “contaminación” son tantos que incluso resultan ser ensordecedores, pues empleamos un vademécum variopinto de herramientas que nos permiten hacer frente a ello. Por ejemplo, dentro del laboratorio siempre usamos batas que sirven para aislar la parte de nuestros cuerpos que estuvieron expuestas a la intemperie con el laboratorio. Los guantes no pueden faltar, son una barrera entre los microrganismos que viven en nuestras manos y todo lo que tocamos. También están el hipoclorito y, con más fervor, el etanol, compuestos que conducen a una muerte química de los microbios y que se convierten en extensiones de nuestros cuerpos y los empleamos para roscar toda aquello que pueda ser un “foco de contaminación”. A su vez, pasamos muchos de los materiales con los que trabajamos a través de una autoclave, máquina que por medio de altas presiones y temperaturas garantiza la muerte física de cualquier microbio.

Igualmente, cuando trabajamos con bacterias solemos hacerlo dentro de una máquina llamada cabina de flujo laminar, la cual, por medio de un flujo de aire unidireccional crea un espacio adecuado para trabajar con las bacterias de estudio al

separar. Usamos, también, mecheros para quemar los microbios que residen en el aire y en la superficie de algunas herramientas. Hacemos uso de instrumentos como pinzas, hisopos, pipetas y asas bacteriológicas para no tocar de manera directa las bacterias, y una vez estas son cultivadas dentro de las cajas de Petri estériles o en tubos, son tapadas con una suerte de plástico, llamado parafilm, que garantiza una separación entre el interior y el



exterior de la caja de Petri (**Figura 1.2.5**).

Figura 1.2.5. Investigadora empleando guantes para sellar una caja de Petri con parafilm dentro de la cabina de flujo laminar.

Al observar las cajas de Petri logramos notar que estas generan una suerte de espacios contenidos dentro de sí mismos que permiten una separación tajante entre aquellos microbios que pueden estar dentro y gozar de los nutrientes del agar nutritivo, y aquellos que no. En este caso la segregación que se observa aquí en el laboratorio por medio de las cajas de Petri no busca posicionar a las especies indeseadas en un sitio

particular, sino que busca aislar a las especies de interés del resto que puedan hacerlas descender en su grado de pureza.

Como vemos, similar a lo que sucede con la muerte de las babosas en la jardinería, tal como lo ha rastreado Ginn (2014) en su trabajo de campo, se observa la existencia de un arsenal de métodos personificados y predilectos para matar a los microbios indeseados o para generar barreras entre éstos y las bacterias estudiadas. Es interesante ver cómo un objeto indefinido, como la contaminación, conduce a tantas angustias para los investigadores dentro del laboratorio, lo cual se manifiesta a partir de la realización de prácticas obsesivas de higiene que consumen recursos como el tiempo y el dinero. Esta angustia hacia la contaminación es tal, que dichas ideas están presentes en nuestros discursos y no somos conscientes de ello, como cuando Luz me dijo un día “cuidado con lo que metas dentro de esa nevera, porque todo se te va a contaminar con un hongo blanco” (Gómez, comunicación personal, 17 de septiembre, 2019). Una vez más, para evitar la angustia que genera la contaminación, se etiqueta a toda la nevera como contaminada para poder volver definido un objeto indefinido.

Conclusiones

A manera de conclusión podríamos plantear diversas ideas. En primer lugar, que la presencia de una bacteria no es suficiente para que se considere que esté contaminada. La contaminación surge exclusivamente cuando una o diversas bacterias de estudio crecen con

microbios que son *indeseados* ante los ojos de las investigadoras, es decir, cuando está fuera de su lugar asignado estructuralmente. Las ideas de segregación de bacterias a partir de sus grados de contaminación son tan profundas que incluso llevan a que las científicas quieran separar a las cajas de Petri contaminadas visioespacialmente. De esto modo, las bacterias más “contaminadas” son ubicadas más lejos de las “puras”.

Científicamente, los fundamentos de considerar a una bacteria de interés como contaminada cuando crece en conjunto con microbios indeseados surgen a partir del temor que se consume la reproducción parasexual y/o el contacto con sustancias segregadas por dichas bacterias, factores que conducen a sesgos en los resultados de las investigaciones. No obstante, comprender la contaminación desde el paradigma científico permite explicar por qué se contaminan *algunas* bacterias, más no el porqué de la contaminación de *todas* las bacterias de estudio. De este modo, etiquetar a las bacterias como contaminadas permite materializar, definir, contener y evitar la angustia generada por no saber dónde se encuentra la contaminación, un objeto indefinido. Con ello, contaminar a las bacterias como puras o contaminadas tiene raíces tanto biofísicas como simbólicas. La contaminación aparece como una estrategia que permite postular de manera tajante los peligros que conlleva la mezcla de bacterias de estudio con las indeseadas.

El escenario de la contaminación permite evidenciar una Interseccionalidad de discriminación de las bacterias contaminadas, donde se observa que se les discrimina por ubicarse en una posición histórica inferior a la de los humanos y aparte de ello por estar

ubicadas en un escalafón social bacteriano inferior al de las bacterias puras. Estas ideas a su vez materializan un darwinismo social, pues las científicas deciden cuáles bacterias son aptas para vivir, y las que no son descartadas en el tarro de residuos biológicos. Los esfuerzos por evitar la contaminación por medio de la segregación son tantos que incluso resultan ser ensordecedores, pues en el laboratorio se emplea un vademécum variopinto de herramientas que nos permiten hacer frente a ello.

La información aquí encontrada nos muestra que las científicas construyen el mundo social de las bacterias a partir de proyecciones de sus mismos mundos, lo que en muchos momentos sesga aspecto de sus vidas. Esta afirmación se hace evidente si consideramos que somos nosotras, las investigadoras, quienes a partir de las herramientas tecnocientíficos que empleamos para producir conocimiento, aunado a nuestras concepciones de mundo y a la información que nos sugiere la biofísica bacteriana, establecemos un orden social bacteriano que gobiernan la forma en la que construimos el mundo de las bacterias.

El trato que le damos a las bacterias dentro de nuestro laboratorio permite optimizar recursos como el tiempo y el dinero. No obstante, al haber desentrañado la forma en la que las científicas construimos el mundo de las bacterias, considero que es necesario difundir este conocimiento en nuestro laboratorio, con el fin de ajustar algunas de nuestras prácticas y de repensar las formas en la que nos relacionamos con las bacterias. Esta información, además, es de utilidad para pensar la complejidad que se presenta para consolidar escenarios de relación entre múltiples especies horizontales.

Referencias

- Chen, P., & Shakhnovich, E. I. (2010). Thermal adaptation of viruses and bacteria. *Biophysical Journal*, 98(7), 1109–1118. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2009.11.048>
- Clark, D. P., & Pazdernik, N. J. (2013). Bacterial Genetics. *Molecular Biology*, e641–e646. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-378594-7.00060-3>
- Curtis, V. (2007). Dirt, disgust and disease: a natural history of hygiene. *Journal of Epidemiology and Community Health*, (61), 660–664. <https://doi.org/10.1136/jech.2007.062380>
- Douglas, M. (1973). *Pureza y Peligro: Un análisis de los conceptos de contaminación*. Madrid: Siglo XXI.
- Duque, C., Uribe, C., & Vásquez, R. (2005). Etnografía clínica y narrativas de enfermedad de pacientes afectados con trastorno obsesivo-compulsivo. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, XXXIV(02), 190–219. Retrieved from [/citations?view_op=view_citation&continue=/scholar?hl=es&as_sdt=0,5&scilib=1&scioq=factores+trastorno+obsesivo-compulsivo&citilm=1&citation_for_view=lRkK2ZoAAAAJ:UeHWp8X0CEIC&hl=es&oi=p](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&continue=/scholar?hl=es&as_sdt=0,5&scilib=1&scioq=factores+trastorno+obsesivo-compulsivo&citilm=1&citation_for_view=lRkK2ZoAAAAJ:UeHWp8X0CEIC&hl=es&oi=p)
- Ginn, F. (2014). Sticky lives : slugs , detachment and more-than- human ethics in the garden, 532–544. <https://doi.org/10.1111/tran.12043>
- Gould, S. J. (1980). *The mismeasure of man*. W.W. Norton & Company.
- Gullian-Klanian, M., & Sánchez-Solis, M. J. (2018). Growth kinetics of Escherichia coli

O157:H7 on the epicarp of fresh vegetables and fruits. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49(1), 104–111. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.08.001>

Lorimer, J. (2017). Probiotic Environmentalities : Rewilding with Wolves and Worms.
<https://doi.org/10.1177/0263276417695866>

Pérez-y-Terrón, R., Gonzalez-Montfort, T. S., & Muñoz-Rojas, J. (2014). Antagonismo microbiano asociado a cepas bacterianas provenientes de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) y maíz (*Zea Mays*). *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(3), 53-60Pérez-y-Terrón, R., Gonzalez-Montfort, T. S.,

Capítulo II

El giro ontológico brinda la oportunidad de pensar en un espacio en el que es posible pensar en nuevas posturas teóricas que conceptualicen a los no-humanos de forma diferente a las que tradicionalmente predominan, caracterizadas por ser anticuadas, reduccionistas, etnocéntricas, ingenuas e incompletas (Ruiz-Serna & Del Cairo, 2016). Esta apuesta, pues, abre la oportunidad de conocer formas diferentes de concebir el mundo y la relación con éste desde diversas perspectivas, especialmente de aquellas que han sido poco tenidas en cuenta en los imaginarios de creación de mundo. Tomando como base ello, en el presente capítulo ofrezco una aproximación al mundo de las bacterias desde sus propias representaciones. Esto con el fin de comprender la forma en la que distintas comunidades bacterianas se comportan y aportar conocimientos que sean de apoyo al momento de pensar en nuevos escenarios de justicia ambiental.

A partir de lo anterior, el capítulo se divide en dos partes. En la primera parte tiene a lugar el ensayo *Cómo hablar con una bacteria*, en el cual se identifican las bases de la comunicación entre humanos y bacterias, información obtenida a través de la observación participante de las técnicas que empleamos las científicas para construir el conocimiento de las bacterias en el laboratorio. Esta información obtenida es de utilidad para desarrollar la segunda parte, *Qué dicen las bacterias*, etnografía de diversas bacterias promotoras del crecimiento vegetal, las cuales son candidatas a formar parte del biofertilizante que desarrollamos en el laboratorio de Fisiología Molecular Vegetal, en la universidad Icesi.

2.1. Cómo hablar con una bacteria

“Ya no hay una sola idea que lo explique todo, sino un número infinito de esencias que dan sentido a un número infinito de objetos”.

(Camus, 1991, p. 45)

En medio de mi trabajo de campo dentro del laboratorio de Fisiología Molecular Vegetal me surgió una pregunta, y fue si era posible escuchar a las mismas bacterias contarnos sus historias, en lugar de atender únicamente a los relatos que unos terceros me dieran acerca de ellas. Así pues, me propongo a elucidar la forma en la que se puede dialogar con las bacterias dentro del laboratorio, para lo cual realizo una observación participativa de las prácticas que mis compañeras y yo realizamos para construir conocimiento de las bacterias. Me fijo en la forma en la que las científicas, metodológicamente, construimos conocimiento con las bacterias, lo que me permite identificar, principalmente, que las actividades que se gestan alrededor de los medios de cultivo son piezas clave en el diálogo con estos microbios. De este modo, descompongo los principios de la comunicación entre humanos y bacterias a través de la biosemiótica, explico la forma en la que las investigadoras empleamos diversos elementos para generar mensajes, y advierto cómo las bacterias nos retroalimentan tales mensajes a través de sus cuerpos. A su paso reflexiono acerca de por qué se justifica, en términos científicos, la discriminación hacia las bacterias contaminadas y el porqué del control sobre la reproducción de éstas en el laboratorio.

Percibir, interpretar & actuar

Se plantea que todos los seres vivos que habitamos en este planeta, desde las bacterias, pasando por los humanos, incluso hasta llegar a las plantas, estamos capacitados para percibir signos del ambiente (Emmeche, Kull, & Hoffmeyer, 2011; Hoffmeyer, 1997; Kohn, 2007; Kull, Deacon, Emmeche, Hoffmeyer, & Stjernfelt, 2011). Esto lo podemos ver manifestado en los humanos, por ejemplo, a través de sentidos como el olfato, la audición o la visión. Cada uno de los órganos sensoriales que tenemos, como la nariz, el oído y los ojos, en alusión a la ejemplificación anterior, nos permiten realizar una lectura de nuestro entorno. Las adaptaciones que desarrollamos los seres vivos, como los cilios de los paramecios para impulsarse en las aguas, la visión aguda de un águila para cazar, o las raíces intrincadas de las plantas para captar nutrientes, surgen como una suerte de máquinas especializadas para interpretar determinados signos del contexto universo que nos rodea (Kohn, 2007). De este modo, a partir de la interpretación consciente o inconsciente que se genere de la información percibida, los organismos podemos realizar acciones concretas.

A partir de la información que nuestros órganos nos permiten obtener del ambiente, los seres vivos logramos generar una interpretación, y, a partir de ello, podemos actuar. Hay que aclarar que esto no quiere decir, necesariamente, que todos podamos decidir, o que sea un proceso consciente, simplemente hago referencia al actuar. Cuando los signos ingresan dentro de nuestros sistemas podemos categorizarlos, por ejemplo, como “útiles”,

“peligrosos”, o “neutrales”, y es dicha clasificación la que nos permite realizar acciones concretas (Emmeche et al., 2011; Kull et al., 2011). Es importante aclarar que las interpretaciones y las acciones efectuadas a las que me refiero no están mediadas por procesos estrictamente conscientes, pues hay seres vivos que carecen de un sistema nervioso central, y, aunque lo tengan, no es necesaria la intervención de éste para que se efectúen dichos procesos. Hago referencia, una vez más, a eventos más basales e inherentes de todos los seres vivos.

Con el fin de exemplificar lo expuesto con anterioridad, abordaré el caso de las plantas de arroz y el aluminio. El aluminio es un compuesto que suele encontrarse en su forma fitotóxica en los suelos ácidos (Delhaize & Ryan, 1995). Las plantas de arroz cuentan con las raíces, órganos altamente sensibles y especializados en la interpretación de signos, que incluso se ha considerado que “actúa como el cerebro de los animales más basales” (Darwin, 1880, p. 573). Cuando las raíces perciben el aluminio en el suelo, que es el signo del ambiente, interpreta los signos que de él provienen. De este modo, las plantas empiezan a sintetizar un set de proteínas que les permiten exudar sustancias por sus raíces para evitar la entrada del aluminio a sus cuerpos y, si entra, sintetizan otras proteínas que les ayudan a movilizarlo hasta las vacuolas y también asilan a las células que tienen altas cantidades de aluminio para evitar su difusión interna (Famoso et al., 2010; Tsutsui et al., 2012). Las plantas, como se ilustra en este ejemplo, perciben, interpretan y actúan por medio de una causalidad condicional de *si-entonces* (Kull et al., 2011). Una vez más, ello no quiere decir que propiamente piensen o decidan, actúan. A los seres vivos que realizan todos estos procesos se nos conoce como *semióticos icónicos e indexicales* (Kohn, 2007).

Así pues, podemos pensar que la vida es un proceso de signos y los seres vivos somos el sitio y el producto mismo de la interpretación (Kohn, 2007). Al considerar que el universo está cargado de signos y de organismos con la capacidad de percibirlos, interpretarlos y actuar abrimos paso para generar una aproximación al mundo de las bacterias desde las formas en las que ellas mismas conciben sus universos a partir de la lingüística que ellas mismas poseen.

Con base en lo anterior, de quererse comunicar con las bacterias es imperativo tener en cuenta que la manera en la que los humanos nos comunicamos con los microbios, es más, con los no humanos en general, se presenta de manera diferente a la que sucede de manera trivial y concienzuda entre humanos. Por ende, para comunicarnos con bacterias no solo no podemos usar el lenguaje empleado con los humanos, sino que tampoco podemos darle mensajes simbólico, porque simplemente las bacterias no representan sus universos como humanos, sino como bacterias, y no han desarrollado, que se sepa, una semiótica simbólica, pero sí una icónica e indexical (Hoffmeyer, 2015). Así pues, ¿cómo desarrollamos la comunicación con las bacterias?, ¿cómo componemos un mensajes?

Medios de cultivo

Para poder desarrollar la comunicación con las bacterias debemos partir por considerar que los universos semióticos humanos y bacterianos son independientes el uno del otro. Sin embargo, entre ambos mundos, existen puntos en los que éstos pueden converger, donde hay cosas de los humanos por medio de las cuales las bacterias logran percibir, interpretar y actuar, y viceversa. Son estos elementos en común entre las bacterias

y los humanos los que debemos aprovechar para aproximarnos a ellas al momento de comunicarnos mutuamente. Esto es algo que venimos haciendo históricamente, pero de manera inconsciente.

Algunas bacterias pueden, por ejemplo, penetrar las barreras de la superficie de la piel para provincializar el interior del cuerpo humano, lo que indica que la bacteria, como receptora, logra interpretar los signos que la piel, como emisor, provee. Entre los signos que emite la piel podemos encontrar las proteínas, los iones, los nutrientes, la temperatura, entre otros. A su vez, los seres humanos podemos reconocer signos provenientes de las bacterias, como algunos productos secundarios de su metabolismo, que son interpretados en nuestros cuerpos, por ejemplo, por los glóbulos blancos, y ello nos permite desplegar arsenales de luchar contra dichos microbios (Wilhelm et al., 2019). Si bien este proceso de comunicación entre humanos y bacterias es inconsciente, nos permite materializar la idea de, precisamente, generar ese puente de comunicación entre ambos mundos, hace que lo podamos ver como algo factible. Y es por ello, una vez más, para poder construir un proceso consciente de comunicación es necesario poder encontrar los puntos, o signos, en los que convergen los universos bacteria y ser humano, con el fin de emplearlos como una herramienta de comunicación

Para poder comunicarnos con una bacteria de manera consciente debemos generar un mensaje a partir de una composición de signos que las bacterias puedan interpretar fácilmente. Así que, ¿qué puede interpretar una bacteria? Al observar el comportamiento de las bacterias podríamos identificar que ellas, al igual que los demás seres vivos, tienen la necesidad de alimentarse. Puede parecer algo evidente, pero si lo pensamos a mayor

profundidad, veríamos que ahí, en esta actividad que realizan de manera constante, residen un gran proporción de los signos que ellas interpretan y que, por ende, necesitamos los humanos para componer los mensajes que requerimos para comunicarnos con ellas.

Aproximándonos, pues, más a la dieta bacteriana, la comunidad científica ha logrado identificar algunos nutrientes que son necesarios para el crecimiento de estos microbios. Por ejemplo, diversas bacterias requieren de fuentes de azúcares, como glucosa, fructosa o galactosa. También requieren de agua, importante en sus procesos metabólicos. Necesitan, a su vez, de fuentes de fósforo y demás elementos necesarios para su desarrollo. Al conocer todo este tipo de nutrientes que las bacterias pueden aprovechar para su crecimiento sabemos cuáles son los signos que ellas pueden interpretar, y podemos poner dichos signos juntos para componer mensajes para las bacterias y enviárselos a través de un canal, como ya se ha logrado hacer.

El agar nutritivo, matriz gelatinosa y llena de nutrientes donde crecen las bacterias dentro del laboratorio, hace las veces de canal para difundir el mensaje, permite la comunicación bidireccional entre el humano y la bacteria. De este modo, la composición específica de dicho medio, como el agua, la peptona, la glucosa, incluso la temperatura y el pH, y demás elementos que se le puedan agregar, son el conjunto de signos que componen el mensaje específico proporcionado a la bacteria.

El mensaje dado a las bacterias puede ser tan complejo como los mismos componentes del medio lo permitan. Los medios de cultivo han sido catalogados como nutritivos, enriquecidos, selectivos y diferenciales. Los medios nutritivos son aquellos que

permiten el crecimiento de casi cualquier microbio, pues su composición tiene los nutrientes básicos para el florecimiento de la mayoría de organismos. Es por ello que este mensaje es un mensaje, si se puede plantear, desvirtuado, pues cualquier microorganismo que tenga la capacidad de interpretar dichos signos podrá crecer sobre el agar, es decir, estará en la capacidad de responder a nuestro mensaje.

Para abordar mejor el punto anterior llevé a cabo un pequeño experimento. Dejé reposar una caja de Petri abierta con agar nutritivo a lo largo de 6 horas dentro del laboratorio, la cual también recibió un frotis de mi boca -donde también residen microbios-, para posteriormente dejarla incubando a 27° a lo largo de 3 días. Una vez pasado el tiempo, al revisar la caja logré atisbar la presencia de una miríada de microbios, entre los que distingo hongo y bacterias, de diversos colores, tamaños, formas y texturas respondiendo a este mensaje enviado (**Figura 2.1.1.**).



Figura 2.1.1. Miríada de microorganismos creciendo sobre agar nutritivo.

Así pues, se podría postular que el medio nutritivo es un primer mensaje por parte de los actantes humanos, por medio del cual se le pregunta a las bacterias que se encuentran presentes en el ambiente si pueden vivir con agua, peptona, y glucosa bajo condiciones aerobias y a una temperatura de 27°, donde la concurrencia de manchas sobre el agar, es decir, colonias, es una respuesta de “útil” por parte de los microbios, mientras que el no observar dichas huellas podría sugerir que el mensaje nunca llegó al receptor, pues el emisor le brindó todo lo que necesitaba el microorganismo para responder, recursos los

cuales no podría rechazar. Lo anterior sucede con los medios nutritivos, que ya se abordaron, y los enriquecidos, que cuentan con signos que pueden conducir a un crecimiento más óptimo del microbio, como lo que sucede al añadir vitaminas, sangre, suero u otros componentes específicos para organismos nutricionalmente estrictos (Madigan, Martinko, Dunlap, & Clark, 2009), es decir, que requieren de más signos para poder responder.

Los medios selectivos generan un escenario diferente para el crecimiento de los microbios. Éstos cuentan con componentes específicos que solo unos organismos en particular pueden interpretar, como el agar MacConkey, donde la mezcla de sales biliares y el cristal violeta inhiben el desarrollo de las bacterias Gram positivas, es decir, da paso al crecimiento exclusivo de las Gram negativas (Madigan et al., 2009). La aparente ausencia de respuestas por parte de ciertas bacterias a mensajes específicos puede estar dada por una incapacidad semiótica de algunas especies a interpretar señales específicas. En otras palabras, sugiere que genéticamente no cuentan con las adaptaciones fisiológicas necesarias para lograr vivir bajo las condiciones que planteamos, o que aunque sí puedan responder al mensaje, lo catalogan como “peligroso”, donde la resistencia a crecer bajo dichas condiciones se cataloga también en sí mismo como una respuesta.

Un fenómeno particular se da cuando los microbios pueden responder al mensaje, pero el mensaje que cada uno interpreta es diferente, ya que hay componentes dentro de dicho mensaje que no logran ser interpretados por algunos microorganismos. Esto permite que se logren enviar diversos mensajes dentro del mismo medio. Para hacernos una idea de esto, pensemos que nos realizan preguntas en inglés y español; quienes sepan solo una de

las lenguas responderá únicamente las preguntas que se generen en dicho idioma, pero quienes sepan ambas serán capaces de responderlas todas. Lo anterior tiene lugar, por ejemplo, al emplear el medio Salmonela Shigella Agar (SSA) que permite el crecimiento de cualquier bacteria Gram negativa, pero el hecho de contener lactosa, para fermentar, y tiosulfato de sodio, para formar ácido sulfídrico, hace que las bacterias crezcan con una coloración diferencial (Madigan et al., 2009). Bacterias como *Salmonella* y *Shigella* no logran fermentar la lactosa, pero ello no les impide poder crecer en el medio, ya que se puede observar su presencia por medio de colonias transparentes, es decir, una parte del mensaje es catalogado como “útil”, pero no tienen la capacidad semiótica de responder a todo. Las bacterias que tienen la capacidad de producir ácido sulfúrico, es decir, que logran interpretar la señal del tiosulfato de sodio, generan colonias con centros de color negro debido a la formación de sulfuro de hierro, es decir, logran catalogar todo el mensaje como “útil”. Por último, las bacterias que logran fermentar lactosa logran reducir el pH alrededor de sí mismas, generando un viraje del color del indicador de pH, lo que hace que sus colonias tomen una coloración rojiza, de nuevo, al catalogar el mensaje como “útil”.

De este modo, podemos ver cómo al identificar elementos como los nutrientes, el pH, la temperatura, entre otros, podemos generar una comunicación entre los humanos y las bacterias. Existen diversos medios, que pueden ser nutritivos, enriquecidos, selectivos o diferencias, los cuales van a permitir generar diversos tipos de mensajes de acuerdo a la intención que tengan los investigadores. En el laboratorio aprovechamos este conocimiento para aproximarnos al mundo de las bacterias.

Un nutriente a la vez

En general, la elaboración de los medios de crecimiento puede ser muy compleja, pues son muchos los factores que inciden en la forma en la que de ellos requieren de procedimientos estrictos en su elaboración. Tal es el caso de cromoazurol S (CAS), que es selectivo para el crecimiento de bacterias con la capacidad de solubilizar fosfatos. Este medio cuenta con una gran cantidad de componentes, y cada uno de ellos requiere de una preparación meticulosa, pues el alterar uno solo de los pasos conduce a fallos en su realización (Lynne, Haarmann, & Louden, 2011). Junto a Sandra, mi amiga y asistente de investigación del laboratorio, quien me ha acompañado en todos los experimentos de mi tesis, intentamos realizar este medio en diversas ocasiones. En los tres primeros intentos no habíamos ajustado el pH del agar de manera correcta en uno de los pasos que el procedimiento sugiere, lo que condujo a que el agar se tornara de una coloración verdosa, en lugar de la azulada (**Figura 2.1.2.**). Este cambio significaba la inviabilidad del uso del agar en nuestros experimentos.



Figura 2.1.2. Agar CAS con pH ácido.

En otro momento intentamos ajustar el pH del medio, pero el orden en el que Sandra agregó los productos pudo influenciar en el fallo de este medio. En palabras de ella: “Primero era [mezclar] agar con colorante y después glucosa, y yo mezclé el agar con la glucosa y luego le eché el colorante, de pronto fue eso, porque el medio no quedó azul sino como gris”. Continuamos, una vez más, con la elaboración del medio CAS, pero a pesar que el medio ya tenía la coloración azul esperada, observábamos unos grupos dentro del agar (**Figura 2.1.3**). Desesperados, acudimos a llamar a una microbióloga amiga experta en el tema para pedir su consejo. Ella nos sugirió tener calma y agregar un nutriente a la vez, sin afán. Funcionó.

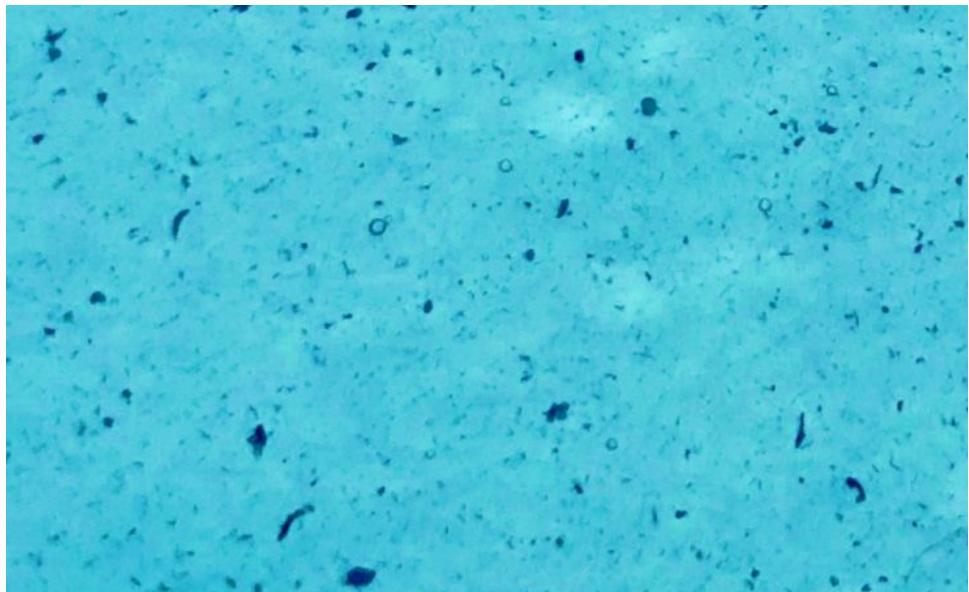


Figura 2.1.3. Agar CAS con grumos.

El proceso de comunicación entre humanos y bacterias permite, a su paso, identificar un rol importante del investigador, que consiste básicamente en procurar reducir todas las posibles interferencias que se generan desde la construcción del mensaje hasta su llegada en el emisor. Es por ello que empleamos la bata, los guantes, la cabina de flujo, el mechero, el Parafilm, elementos esterilizados y, por supuesto, grandes cantidades de etanol, con el fin de que la retroalimentación a los mensajes enviados sea únicamente dada por las bacterias que se desea y que el mensaje que reciban sea fiel al que se deseó enviar.

Que los investigadores sean tan meticulosos, que pesen una cantidad exacta de los nutrientes en cuestión, proporcionen cuantías específicas de agua, ajusten el pH, agreguen los compuestos en un orden específico, realicen los experimentos con calma y ajusten la temperatura de incubación de las bacterias, no son más que esfuerzos por reducir el ruido en los mensajes por procurar reducir todas las posibles interferencias y ambigüedades que

se generan desde la construcción del mensaje hasta su llegada en el emisor. A su vez, esto permite comprender por qué las investigadoras continuamos reproduciendo una discriminación ante las bacterias “contaminadas” y por qué nace la idea de pureza, pues se requiere asegurar que las respuestas que obtenemos de los mensajes están dadas exclusivamente por las bacterias de interés bajo las condiciones pensadas.

Siembra de bacterias

Una vez se generan los medios de cultivo se prosigue a servirlos dentro de recipientes específicos. En mi caso, la mayoría de medios que empleé en mi investigación fueron medios sólidos, por lo que los serví en cajas de Petri. El estado de los medios de cultivo no es neutro, el hecho de ser sólidos o líquidos les impone formas particulares de crecimiento a las bacterias. Al elegir un medio sólido condiciona a las bacterias a crecer de manera fija sobre una superficie plana, a que se adhieran a ésta de forma hacinada y a que estén en contacto con el oxígeno. Elegir un medio líquido conduce a que aquellas bacterias que cuenten con las adaptaciones requeridas puedan moverse a lo largo del medio de cultivo, a que se separen unas de otras, y, en algunos casos, a que permanezcan en condiciones anaerobias. Decantarse por un medio sólido o uno líquido dependerá de la información que se deseé obtener de las bacterias.

Con el fin de garantizar que el receptor deseado logre recibir el mensaje enviado, se procede a cultivar a las bacterias sobre el medio de cultivo. Para realizarlo, las investigadoras nos valemos de diversos instrumentos, tales como asas bacteriológicas (**Figura 2.1.4.**) e hisopos para tomar muestras de las bacterias y extenderlas sobre el agar.

Debido a que la viscosidad de diversas especies de bacterias hace que tengan más afinidad por el agar que por el asa, dificulta que éstas queden sujetas al anillo metálico de dicho instrumento, lo que hace que, en la mayoría de los casos, se convierta en una labor compleja.



Figura 2.1.4. Asa bacteriológica con una colonia bacteriana en su anillo.

Existen diversas formas de cultivo del agar, pero las que más usé en mis experimentos fue la siembra por estrías (**Figura 2.1.5**). Esta técnica permite que las bacterias puedan ser separadas espacialmente y que se puedan obtener unidades formadoras de colonia (UFC), las cuales son poblaciones de bacterias que crecieron a partir de una única bacteria. Esta metodología es útil si lo que se busca es garantizar que las bacterias

con las que se desea trabajar crezcan en medios axénicos, es decir, en medios donde solo hay bacterias de la misma especie.

El proceso de siembra debe realizarse con mucha filigrana, pues el aza, hostil, entra en contacto con el agar, frágil; como al momento de afeitar un rostro con una cuchilla para remover el bello, los movimientos deben ser lo suficientemente suaves como para garantizar que no se generen daños en el agar, pero a su vez lo suficientemente duros como para asegurarse de mover las bacterias a lo largo de la superficie. Debido a que la muestra bacteriana que se toma para generar la siembra es relativamente pequeña, es difícil rastrear el proceso de siembra que se realiza sobre el translúcido agar. Para abordar dicho inconveniente, es necesario inclinar la caja, haciendo uso de una mano, en un ángulo específico, de tal manera que se logre provocar que un haz de luz proveniente de la misma cabina refracte sobre la superficie del agar, permitiendo que una débil marca se evidencie sobre éste a medida que se realizan los delicados movimientos del aza con la otra mano. Sin duda alguna, un arte.



Figura 2.1.5. Siembra de una bacteria por la técnica de agotamiento.

Una vez se termina la siembra de las bacterias se procede a tapar las cajas con ayuda de una sute de plástico, llamado Parafilm, con el fin de aislar por completo cada caja de Petri del medio exterior que las rodea. Seguido a esto, usualmente las cajas se depositan dentro de un horno a 29°C por dos días para promover el crecimiento de las bacterias, tiempo requerido para que las receptoras logren recibir el mensaje. La información propuesta en este apartado permite comprender por qué las científicas controlamos la reproducción de las bacterias, pues el fin de ello es poder contar con ellas siempre que se requiera dialogar.

Lectura de cuerpos bacterianos

Las características macroscópicas de las bacterias, es decir, aquellas distinguibles al ojo humano por medio de sus colonias, se convierten en sí mismas en una retroalimentación del mensaje enviado por los humanos. Estos microbios poseen formas, colores, texturas, pigmentaciones y demás atributos que son característicos de cada especie, lo que conduce a que ante un mismo mensaje enviado cada bacteria responda de manera particular. Se puede decir, incluso, que dentro de cada especie, de acuerdo al tipo de mensaje que se envíe, la retroalimentación dada será diferente. Si la pregunta que se le plantea a las bacterias es siempre la misma, es decir, si los componentes del medio de cultivo, la temperatura de incubación, el tiempo de crecimiento y los demás factores que inciden sobre la composición del mensaje no varían, se esperaría, por ende, que la respuesta de la bacteria sea la misma. Esto es importante porque permite que las científicas podamos notar patrones específicos dentro del comportamiento de las bacterias frente a las condiciones en las que se les hace crecer.

Para ejemplificar la utilidad de lo mencionado con anterioridad, me gustaría abordar un caso que presencié de SOG23. Un día, estando dentro del laboratorio, le pedí a Luz, una compañera, que me prestara unas cajas con agar para cultivar unas bacterias. Ella, de manera amable, me prestó unas cajas que contenían un agar llamado YM. Al cultivar las bacterias y esperar dos días, observé que todas las bacterias habían crecido bien. No obstante se había observado un cambio significativo en SOG23. SOG23 es una bacteria que, cuando crece sobre agar nutritivo, presenta una coloración rojiza (**Figura 2.1.6 a.**). El cambio que experimentó esta bacteria cuando fue cultivada sobre YM fue tan grande que a

penas la vimos Sandra me dijo “¿si ve lo que un cambio de medio le puede hacer a una bacteria? Antes era rosada, crecía bien... ahora está opaca y está inhibida”. Si la apreciamos bien, perdió su color refulgente característico (**Figura 2.1.6 b.**).

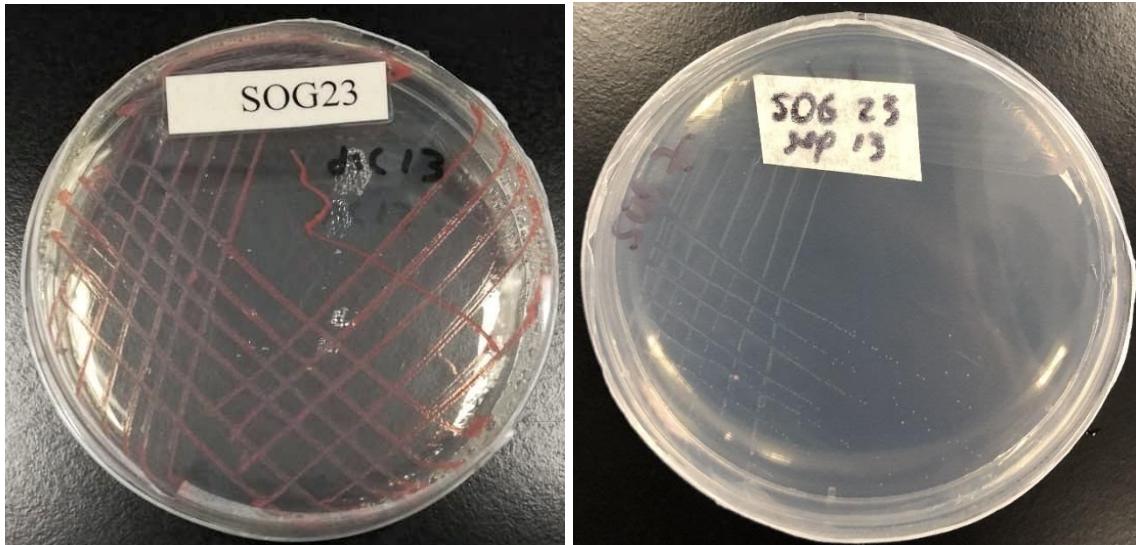


Figura 2.1.6 Bacteria SOG23 creciendo en **a.** agar nutritivo y **b.** agar YM.

Únicamente pudimos saber lo que estaba sucediendo con SOG23 al haber estandarizado las respuestas de ella cuando crecía en un medio en particular. Así pues, modificar la pregunta, o, en otras palabras, las condiciones de crecimiento de la bacteria, da paso a respuestas diferentes. Las investigadoras dialogamos con las bacterias a través de sus cuerpos, pues por medio de éstos nos exhiben las respuestas a las preguntas que formulamos. Es así como finaliza el proceso de comunicación entre humanos y bacterias, con la retroalimentación de los microbios, lo que nos permite crear conocimientos alrededor de ellas a partir de lo que ellas mismas dicen.

Conclusiones

A partir de la información aportada se concluye que los seres vivos somos seres *semióticos icónicos e indexicales*, es decir, que contamos con una maquinaria que nos permite percibir, interpretar y actuar de acuerdo a los signos de nuestro entorno. Con ello, para generar una comunicación entre humanos y bacterias no solo no podemos usar el lenguaje verbal empleado con los humanos, sino que tampoco podemos darles mensajes simbólico. Existen elementos del universo de los humanos que las bacterias logran percibir, interpretar y actuar, y viceversa, como los nutrientes, el pH, la temperatura, entre otros. Dentro del laboratorio podemos aprovechar dichos elementos para consolidar una forma de comunicación mutua de manera consciente entre humanos y bacterias.

De acuerdo a la intención que tengamos las emisoras, que en este caso somos las investigadoras, podemos emplear medios de cultivo nutritivos, enriquecidos, selectivos o diferenciales para transmitir nuestros mensajes. Las científicas somos muy meticulosas dentro del laboratorio y empleamos un vademécum de herramientas y estrategias con el fin de reducir el ruido que puede generarse desde el diseño del mensaje hasta su captación por las receptoras. Para poder asegurar que las respuestas que obtenemos de los mensajes están dadas únicamente por las bacterias de estudio nacen las ideas de pureza/contaminación dentro del laboratorio.

El estado de los medios de cultivo no es neutro, el hecho de ser sólidos o líquidos impone formas particulares de crecimiento a las bacterias. Con el fin de garantizar que los mensajes enviados llegan a las receptoras, las investigadoras nos aseguramos de poner en

contacto a las bacterias con el medio de cultivo. Lo anterior lo logramos, cuando son medio sólidos, a través de sus siembras dentro de cajas de Petri; dicho proceso de sembrado se debe realizar con mucha filigrana. Al esperar un tiempo determinado, las bacterias nos retroalimentan el mensaje a través de respuestas que exhiben en sus cuerpos. De este modo, se logra componer todo un proceso de comunicación entre humanos y bacterias, el cual nos permite aproximarnos a sus mundos de manera más fiel a sus vivencias. El control sobre la reproducción de las bacterias surge con el fin de garantizar que estén disponibles para responder a los mensajes enviados.

Así pues, en este ensayo se pudo elucidar la forma en la que los humanos, desde un laboratorio, nos podemos comunicar con las bacterias. La información aquí reportada sirve como una herramienta guía para establecer diálogos con microbios. De este modo, este trabajo nos provee de conocimiento metodológico para aproximarnos al estudio de los mundos de las bacterias desde sus propias perspectivas.

Referencias

Camus, A. (1991). *The Myth of Sisyphus and other essays*. Vintage International. New York.

Darwin, C. (1880). *Books of enduring scholarly value The Power of Movement in Plants*.

Delhaize, E., & Ryan, P. (1995). Aluminum Toxicity and Tolerance in Plants. *Plant Physiology*, (107), 315–321. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-8899-9_10

Emmeche, C., Kull, K., & Hoffmeyer, J. (2011). Why Biosemiotics? An Introduction to Our View on the Biology of Life Itself. In *Towards a Semiotic Biology: Life is the Action of Signs* (pp. 1–21). IMPERIAL COLLEGE PRESS.

<https://doi.org/10.1142/p771>

Famoso, A. N., Clark, R. T., Shaff, J. E., Craft, E., McCouch, S. R., & Kochian, L. V. (2010). Development of a novel aluminum tolerance phenotyping platform used for comparisons of cereal aluminum tolerance and investigations into rice aluminum tolerance mechanisms. *Plant Physiology*, 153(4), 1678–1691.

<https://doi.org/10.1104/pp.110.156794>

Hoffmeyer, J. (1997). *Signs of Meaning in the Universe*. Indiana University Press.

Retrieved from

https://books.google.com.co/books/about/Signs_of_Meaning_in_the_Universe.html?id=L5nSVthCFzUC&redir_esc=y

Hoffmeyer, J. (2015). Introduction: Semiotic Scaffolding. *Biosemiotics*, 8(2), 153–158.

<https://doi.org/10.1007/s12304-015-9236-1>

Kohn, E. (2007). How dogs dream: Amazonian natures and the politics of transspecies engagement. *American Ethnologist*, 34(1), 3–24.

<https://doi.org/10.1525/ae.2007.34.1.3>

Kull, K., Deacon, T., Emmeche, C., Hoffmeyer, J., & Stjernfelt, F. (2011). Theses on

Biosemiotics: Prolegomena to a Theoretical Biology. In *Towards a semiotic biology : life is the action of signs* (p. 304). Imperial College Press.

Lynne, A. M., Haarmann, D., & Louden, B. C. (2011). Use of Blue Agar CAS Assay for Siderophore Detection. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 12(1), 51–53.
<https://doi.org/10.1128/jmbe.v12i1.249>

Madigan, M. T., Martinko, J. M., Dunlap, P. V., & Clark, D. P. (2009). *Brock. Biología de Los microorganismos* (12th ed.). Pearson.

Ruiz-Serna, D., & Del Cairo, C. (2016). Los debates del giro ontológico en torno al naturalismo moderno. *Revista de Estudios Sociales*, (55), 193–204. Retrieved from <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/full/10.7440/res55.2016.13>

Tsutsui, T., Yamaji, N., Huang, C. F., Motoyama, R., Nagamura, Y., & Ma, J. F. (2012). Comparative Genome-Wide Transcriptional Analysis of Al-Responsive Genes Reveals Novel Al Tolerance Mechanisms in Rice. *PLoS ONE*, 7(10).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048197>

Wilhelm, I., Levit-Zerdoun, E., Jakob, J., Villringer, S., Frensch, M., Übelhart, R., ... Römer, W. (2019). Carbohydrate-dependent B cell activation by fucose-binding bacterial lectins. *Science Signaling*, 12(571). <https://doi.org/10.1126/scisignal.aa07194>

2.2. Qué dicen las bacterias

“Los humanos no son los únicos conocedores”

(Kohn, 2007, pp.17)

La sección anterior nos permitió conocer la forma en la que las científicas dialogamos con las bacterias dentro del laboratorio. Sustentándome en ello, en este apartado busco comprender cómo las bacterias se relacionan con otras entidades bacterianas y consigo mismas. A partir de ello presento los resultados de los diálogos establecidos con las bacterias dentro del laboratorio, donde se encuentra, principalmente, que las bacterias son heterogéneas. Ellas son distintas unas de otras, con características físicas, biológicas y sociales diferentes entre sí. Dicha información es útil, a su vez, para proponer las bacterias candidatas a formar parte del biofertilizante desarrollado en el Laboratorio de Fisiología Molecular Vegetal de la Universidad Icesi.

Un largo trayecto desde Venezuela

En el laboratorio trabajamos en conjunto con 47 cepas bacterianas. La forma en la que fueron obtenidas fue muy distinta a la que quizá uno se podría imaginar; ellas no fueron extraídas del suelo o de cuencas hídricas, y mucho menos de hospitales ni de muestras de la piel de animales. Estos microbios cuentan con una historia particular, pues todas ellas vivían en el interior de plantas, por lo cual se les conoce como endófitos: *endo-* dentro, y *phyton* – vegetal, como lo sugiere su raíz griega. En específico, las plantas donde vivían las bacterias son especies de arroz silvestres, las cuales son nativas de Sur y Centro América, *Oryza glumaepatula* y *O. latifolia*. Estas especies han quedado por fuera de la selección manual secular realizada por los humanos, y con ello del espectro de intereses de la producción agrícola a gran escala, a diferencia de especies comerciales como *O. sativa*,

originaria de Asia y cultivada mundialmente, y *O. glaberrima*, nativa de África y con un cultivo más situado (Kraehmer, Thomas, & Vidotto, 2017).

Que las bacterias hubieran generado una relación de mutuo beneficio con *O. glumaepatula* y *O. latifolia* que les permitiera constituir sus vidas dentro de dichos cuerpos condicionó a que, entre tanto, los microbios también estuvieran permeados por las condiciones bióticas/abióticas a las que las plantas se enfrentaron. *O. glumaepatula* y *O. latifolia* son especies que tienden a tener una distribución espacial desde los 23° latitud norte en Cuba hasta los 23° latitud sur en Brasil, y latitudinalmente se ubican desde el nivel del mar hasta los 1000msnm (Davidse, Sousa, & Chater, 1994; Karasawa et al., 2007). En este caso, las plantas de las cuales fueron colectadas las semillas se encontraban en diversas localidades rurales de Venezuela, tales como Vía Herrera, Estero de Camaguán, El Esfuerzo, Lecherito y Km. 133. Históricamente, estas plantas se han adaptado de forma natural a los suelos ácidos y habitan en zonas pantanosas, humedales, potreros húmedos, zanjas, praderas, bosque inundables y en los bordes de ríos (Davidse et al., 1994; Karasawa et al., 2007).

Las semillas de *O. glumaepatula* y de *O. latifolia* colectadas fueron enviadas a Colombia vía aérea. Para poder extraer las bacterias del interior de las semillas se procedió a cultivarlas en condiciones controladas en el invernadero y, seguido a esto, se realizaron diversos procesos de maceración de tejidos, como semillas, hojas, tallos y raíces, para posteriormente sembrar las muestras en cajas de Petri con agar nutritivo. De ahí se empezó a obtener cultivos “puros”, o axénicos, donde solo crecen representantes de una única especie, para preservarlas en tubos con glicerol y caldo nutritivo a -80°. Luego de ello se

procedió con la caracterizaron de las bacterias y se realizaron pruebas bioquímicas para conocer qué sustancias podrían producir que estuvieran involucradas en el crecimiento vegetal.

En lo que se identificaban las especies de bacterias que se habían obtenido, para lo que se enviaron muestras de las bacterias a Yale para la secuenciación de su genoma, se les asignó nombres provisionales para referirse a ellas por medio de una codificación muy sencilla: si su nombre inicia con S, alude a que fue obtenida de una semillas, T de tallos y H de hojas; si después de la primera letra sigue OG es que se extrajo de *O. glumaepatula*, y OL de *O. latifolia*; finalmente, un número al final de estas letras hace referencia al orden en el que fue aislado dicho microbio. De ahí que hay especies como SOG28, SOL3 Y HOL2. Al obtener los resultados de secuenciación del genoma de dichas bacterias se pudieron identificar con el género y la especie de cada una de ellas. Una serendipia fue encontrar dos bacterias que antes no habían sido descritas y nombradas desde los cánones de las ciencias naturales, SOG26 y SOG18.

Así pues, todo este fue el periplo por el que atravesaron las 27 bacterias para pasar de vivir en el interior de unas plantas de arroz en los humedales de Venezuela, hasta el interior de un tubo de plástico en la nevera de un laboratorio en Colombia. Así como sucede con los bosques artificiales (Scott, 1998), simplificamos y controlamos las relaciones bióticas/abióticas en los que ahora viven las bacterias. En otras palabras, separamos las especies de interés de las otras bacterias, de las plantas y de su lugar de procedencia y tecnificamos sus universos. Algo importante a mencionar, que se hizo más palpable en mis anteriores palabras, es que estamos procedemos a estudiar a las bacterias

fuera de su contexto usual, por lo que la información que extraigamos de las bacterias debe comprenderse a partir de dichas consideraciones.

Un arsenal de antibióticos

Los contextos bióticos/abióticos en los que se han inscrito históricamente las bacterias han generado presiones evolutivas que las han llevado a desarrollar, si me lo permiten plantear, habilidades, de las cuales se valen para sobrevivir en los ambientes en que viven y colonizar otros. Con el fin de determinar cuáles bacterias serían las candidatas a parte del biofertilizante procedí, en un primer momento, a determinar cuáles bacterias podían vivir en sociedad. La sociedad no es entendida aquí como los humano, aunque sí es importante que las bacterias no generen efectos nocivos a los seres humanos. De acuerdo a la información reportada, las bacterias de nuestro cepario no generan efectos nocivos sobre la salud humana, solo *Pantoea agglomerans*, aunque hay estudios que lo desmienten (Rezzonico, Smits, Montesinos, Frey, & Duffy, 2009). La sociedad, pues, se entiende como el grupo de especies que componen el biofertilizante, donde vivirían las bacterias.

Hace un par de años, en el laboratorio se realizaron pruebas de antagonismo entre todas las bacterias del cepario. La intención de dichas pruebas era conocer cuál era el tipo de interacción que tenían los microbios entre sí. Para ello, las personas encargadas en su momento procedieron a emplear cajas de Petri con agar nutritivo y sembrar a lo largo de toda la caja, de forma masiva, cada bacteria en cajas de Petri. Luego, encima de éste se sembró en menor proporción, en unos pozos, cada microbio con el que se quería conocer su interrelación. A partir de la evaluación se podía identificar si existía o no antagonismo, y de

existir, si el microbio del pozo crecía más rápido que el que se sembró de manera masiva, que sirve para saber de la competencia por el espacio, y/o si se producía una posible sustancia antibiótica del microbio del pozo, información útil para conocer si tal microbio sintetiza compuestos que conducen a la muerte de las otras bacterias.

Debido a que la información total de las pruebas de antagonismo era de difícil interpretación, procedí a convertir en porcentajes las frecuencias de las respuestas obtenidas. A partir de ello identifiqué que el 62,81% de las interacciones fueron antagónicas. De esas, 48,84% fueron por colonización de espacio, 4,12% por producción de antibióticos y 9,85% por colonización de espacio y producción de antibióticos. Únicamente en el 37,19% de los casos no se presentó antagonismo. Además, logré identificar que TOG1, SOL3 y SOG24 fueron las bacterias que generaron el mayor antagonismo sobre las demás, y SOG6, SOG7 y SOG21 las menos antagónicas. Asimismo, HOL1, HOL2 y TOL1 fueron los microbios a los que más inhibieron, y SOG24, SOG9 Y SOG8 a los que menos inhibieron.

Los resultados obtenidos indican, a groso modo, que existe una tendencia por parte de la mayoría de bacterias a generar una batalla constante ante los otros microbios, ya sea al provincializar espacios de manera veloz o al atentar contra la vida de las bacterias aledañas de forma indirecta, todo con el fin de poder asegurar un espacio para sí mismas y así sobrevivir. Este es un factor importante a tener en cuenta, pues refuerza la idea respecto a que las bacterias no son iguales; las particularidades que tienen cada una no solo se expresan a nivel genético, en su genoma, sino que se manifiesta a través de las relaciones

sociales que gestan con otros organismos. De este modo, a partir de la lectura de los cuerpos de las bacterias en las cajas de Petri pude crear un perfil social para cada bacteria.

Así como las interacciones sinérgicas y neutras son importantes para que los organismos florezcan en el mundo, las interacciones antagónicas también son necesarias para asegurar la prevalencia de otros individuos y ayudan a mantener los delicados equilibrios de la vida en los ecosistemas. No obstante, dentro del escenario en el cual estamos inscribiendo a estas bacterias, dentro de los intereses agrícolas, se prescinde de trabajar en conjunto con aquellas que generan antagonismos, no porque no sean importantes, sino porque desde el mismo diseño de éste se espera que las bacterias puedan convivir en conjunto para producir efectos sinérgicos en el crecimiento de las plantas.

Bacterias candidatas

Una vez creé el perfil social para cada bacteria procedí a generar diversas combinaciones de bacterias que no generaran efectos antagónicos entre sí para que compusieran parte del biofertilizante. Debido a que las opciones obtenidas fueron muy restringidas, decidí incluir también a las bacterias que podrían presentar una competencia por espacio, pues cuando se diseña la composición final de los fertilizantes se pueden modificar las concentraciones de cada microbio para generar a final el efecto deseado en el crecimiento de las plantas. Con ello fijé nuestro interés en diversas combinaciones posibles de microbios. Para poder decantarme por uno de ellos y realizar los experimentos respectivos me basé en los resultados de producción de compuestos promotores del crecimiento vegetal que se tenían registrados en el laboratorio para todas las bacterias de

interés. Se tenía registro de la fijación de nitrógeno, síntesis de auxinas, producción de sideróforos y solubilización de fosfatos de todas las bacterias del cepario. A partir de ello seleccioné la siguiente combinación de bacterias, pues eran las que generaban la mayor cantidad de tales compuestos:

Tabla 2.2.1. Identificación de bacterias candidatas a formar parte del poli-inóculo.

ID	Bacteria
SOG4	<i>Pantoea agglomerans</i>
SOG7	<i>Kocuria rosea</i>
SOS23	<i>Arthrobacter agilis</i>
SOG32	<i>Pseudomonas psychrotolerans</i>
SOG33	<i>Pseudarthrobacter defluvii</i>

Producción de compuestos promotores del crecimiento vegetal

Con el fin de corroborar la información reportada en los registros del laboratorio respecto a la producción de compuestos de promoción de crecimiento vegetal decidí realizar algunos ensayos. Por medio de esos experimentos no logré contrastar la información de la literatura y la que se tenía en el laboratorio con la que yo reportaba respecto a la producción de compuestos promotores del crecimiento vegetal, sino que me sirvió para acercarme a cada bacteria y generar un perfil de ellas dentro de estos contextos.

Producción de sideróforos

Los sideróforos son compuestos secretados por algunos organismos que permiten quitar metales como el hierro. En otras palabras, presentan dichos nutrientes en formas que son de fácil asimilación por las plantas. Por su parte, el hierro es un micronutriente necesario para el funcionamiento de las plantas, pues se encuentra relacionado como cofactor enzimático y es un actor clave en la síntesis de clorofila (Taiz & Zeiger, 2015). A pesar de su importancia, algunas plantas tienen dificultades para obtenerlos de sus medios y metabolizarlos, y es por ello que este se presenta como un criterio de interés al momento de seleccionar a las bacterias candidatas a formar parte del biofertilizante.

Para evaluar la producción de sideróforos procedimos a seguir los protocolos descritos por Lynne, Haarmann y Llouden (2011). A partir del mensaje enviado a las bacterias por medio del agar CAS, se esperaba que una respuesta positiva por parte de la bacteria se viera expresada a través del crecimiento de las bacterias sobre el agar y/o por medio de un cambio en la coloración del medio de cultivo, el cual torna a amarillo/verde como resultado del cambio de pH en el medio (Lynne et al., 2011). Esta comunicación la realizamos varias veces con el fin de garantizar que la respuesta que se tenía por parte de las bacterias siempre fuera la misma.

Como se puede observar, únicamente los cuerpos de SOG4 y SOG32 respondieron de manera positiva ante el mensaje enviado (**figura 2.2.1. a, b, g, h.**), manifestándose a través del cambio en la coloración amarilla/verde de sus medios y sus colonias. Dicha información es concordante con lo registrado dentro de las pruebas de nuestro laboratorio

para ambas especies, y según lo reportado en la literatura para *P. agglomerans* (Balu-Rajeswari, Aguado-Santacruz, & Moreno-Gómez, 2015). Esta parece ser la primera vez que se reporta esta habilidad en *P. phsychrotolerans*. Por su parte, la ausencia de crecimiento de SOG7, SOG23 y SOG33 sobre el agar CAS nos sugiere que no pueden crecer bajo las condiciones del medio, es decir, que no puede retroalimentar por medio de su cuerpo el mensaje que se le ha enviado, y su ausencia es en sí misma una respuesta (**figura 2.2.1 c, d, e, f, i, j**). Aquí nos encontramos, pues, ante una contradicción entre la información previa que se tenía del microbio y la obtenida en mis experimentos. Esto podría sugerir que las bacterias han perdido su capacidad de producción de sideróforos, que está bajo estrés, o que quizás estas cepas en particular nunca desarrollaron esa habilidad.

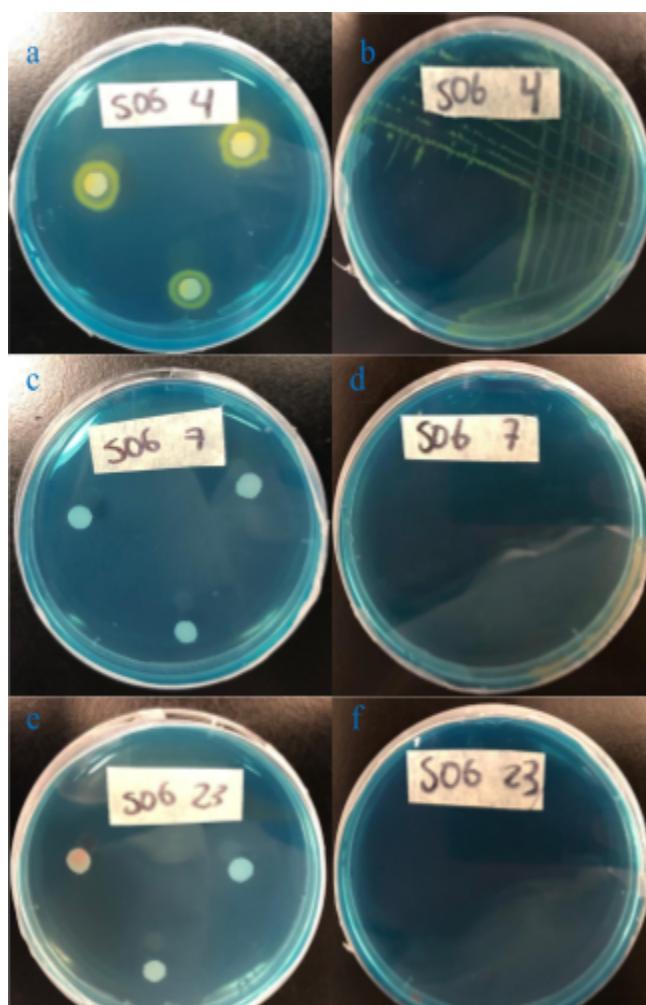


Figura 2.2.1. El crecimiento de las cepas de *P. phsychrotolerans* sobre los medios de cultivo que contienen sideróforos como retroalimentación. Las cepas de las cepas que crecen bien en el agar CAS, SO6 4, SO6 7 y SO6 23, producen sideróforos, ya que se observan las zonas de sideróforo en el agar CAS. Las cepas de las cepas que no crecen bien en el agar CAS, SOG7, SOG23 y SOG33, no producen sideróforos, ya que no se observan las zonas de sideróforo en el agar CAS.

Síntesis de auxinas

Las auxinas son fitohormonas importantes en el crecimiento y adecuado desarrollo de las plantas. Éstas están involucradas en procesos como la elongación celular, la diferenciación vascular, el desarrollo de frutos, la regulación de la dominancia apical y la formación de raíces (Taiz & Zeiger, 2015). De este modo, trabajar en conjunto con bacterias que tengan la habilidad de producir estos compuestos se torna importante, pues promueven el crecimiento de las plantas.

Con el fin de comprobar la habilidad de sintetizar auxinas por parte de las bacterias, procedí a realizar una prueba de su detección por medio del protocolo reportado por Salkowski (1885) con algunas modificaciones. En este experimento un resultado positivo se ve representado por medio de la aparición de un halo rosado en el disco ubicado en la caja de Petri, y un resultado negativo está dado por la ausencia de coloración del medio. El experimento se repitió en diversas ocasiones para corroborar la respuesta de las bacterias.

De acuerdo a lo encontrado, se pudo confirmar por esta técnica que SOG4 y SOG32 son las únicas bacterias con la habilidad de sintetizar auxinas, tal como se esperaba para ambas según ensayos previos realizados en nuestro laboratorio (**figura 2.2.2. a, d.**). Esta habilidad ya había sido identificada previamente por otros investigadores para *P. agglomerans* (Chalupowicz et al., 2013), pero parece ser la primera vez que se reporta para *P. phsychrotolerans*. Por su parte, SOG7, SOG23 y SOG33 no exhibieron la habilidad de sintetizar auxinas (**figura 2.2.2. b, c, e.**).

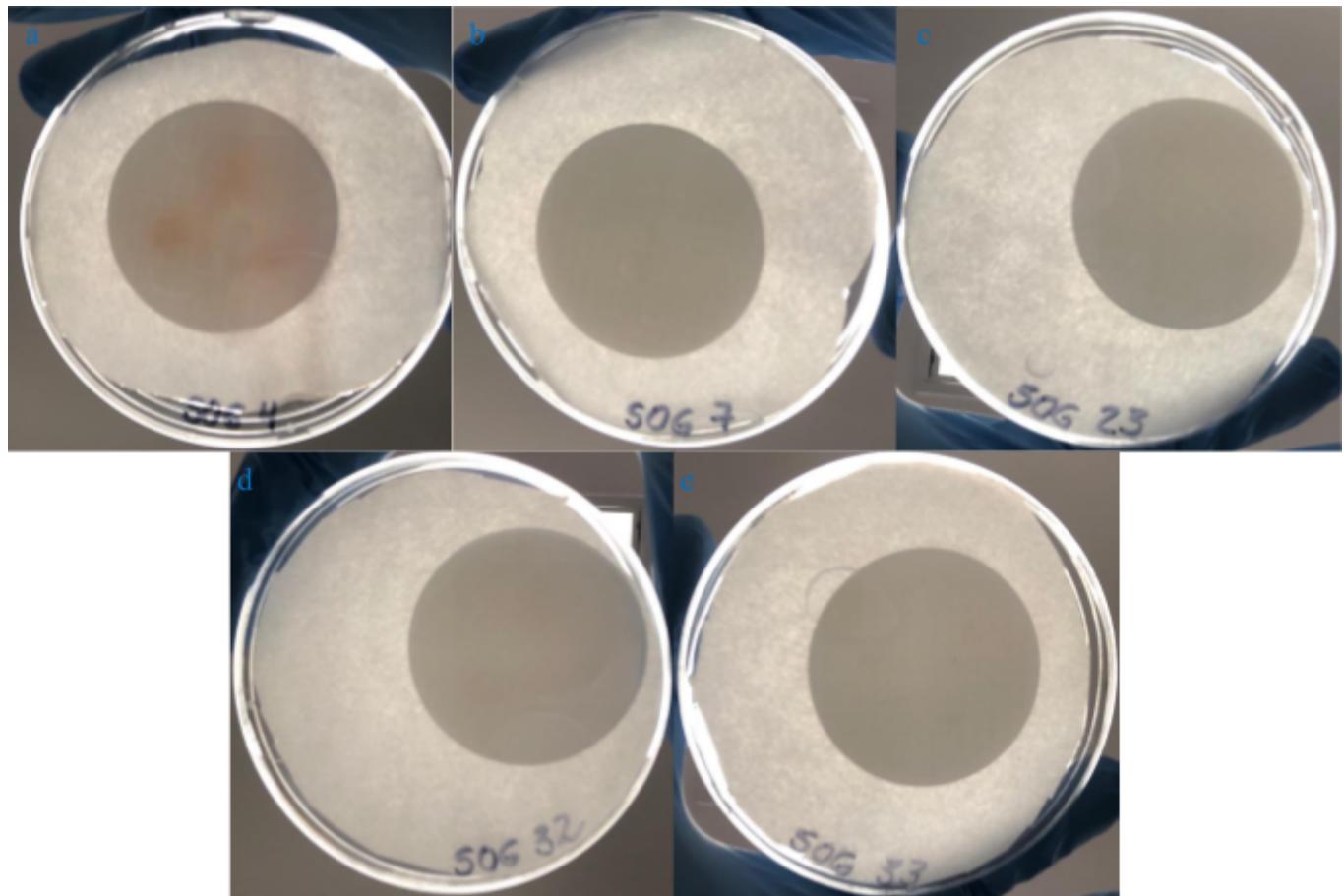


Figura 2.2.2. Evaluación de síntesis de auxinas. **a.** SOG4. **b.** SOG7. **c.** SOG23. **d.** SOG32. **e.** SOG33.

Caracterización de las bacterias

En esta sección presento características generales de cada una de las bacterias candidatas a formar parte del biofertilizante. Creé este perfil, en primer lugar, a través de la información que ha sido reportada para cada una de las especies en general. Sumado a esto, anexé la caracterización física que se ha realizado de las cepas de estudio dentro del laboratorio de Fisiología Molecular Vegetal de la Universidad Icesi. Finalmente, complemento estos datos con

las anotaciones realizadas en mi trabajo de campo, obtenidas por medio de la observación participante de los experimentos en los que participan las bacterias dentro del laboratorio.

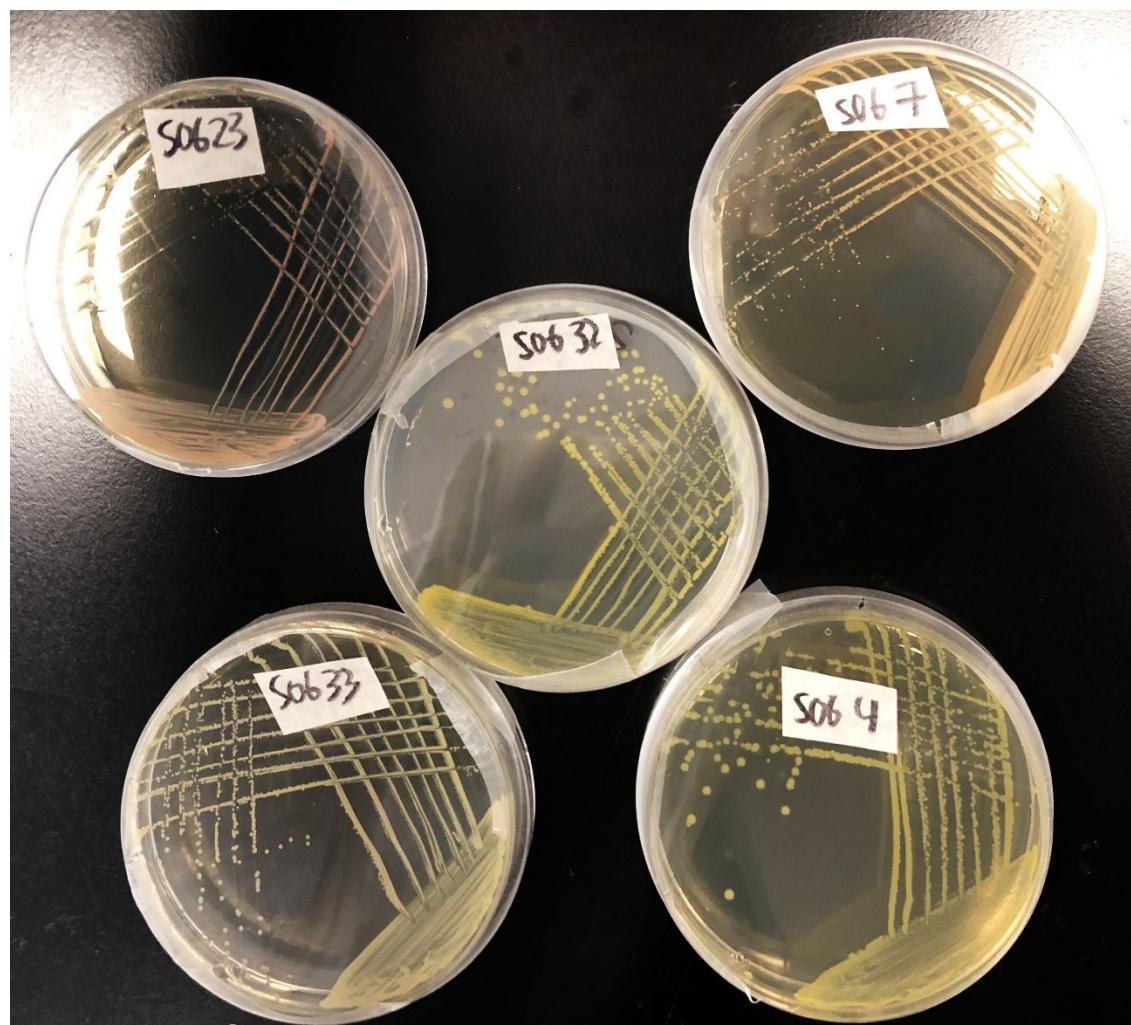


Figura 2.2.3. Siembra de bacterias candidatas a formar parte del poli-inóculo.

SOG23

El nombre de *Arthrobacter agilis* (Koch et al., 1995), a quien llamamos SOG23 en el laboratorio, deriva del adjetivo latín “agilidad”, que hace referencia a su habilidad para desplazarse con rapidez gracias a los flagelos (entre 1 y 3) que tiene (Bergey, 2015).

Anteriormente era reconocida como *Micrococcus agilis*, pero estudios filogenéticos revelaron que su línea evolutiva estaba más relacionada con el género *Arthrobacter* que con *Micrococcus* (Koch, Schumann, & Stackebrandt, 1995), lo que implicó una transformación de su nombre y, con ello, un cambio en la forma de concebirla. Esta bacteria ha sido reconocida por su habilidad para crecer a bajas temperaturas (Singh et al., 2016), por su capacidad para producir compuestos de crecimiento vegetal (Montejo-Mayo et al., 2016) y por su habilidad de inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos (Velázquez-Becerra et al., 2013). Cuando SOG23 crece en un medio rico en nutrientes su coloración tiende a tornarse de un rojo pálido, y es la única en nuestro laboratorio que tiene este cautivante y particular color (**Figura 2.2.3.**). Al ojo humano se puede observar, a su vez, que el tamaño de sus colonias es muy pequeño (1mm) comparado al de otras bacterias, su aspecto es mucoso brillante, con bordes enteros y de elevación convexa.

La tinción de Gram es una técnica ampliamente empleada en microbiología para caracterizar microbios (Madigan, Martinko, Dunlap, & Clark, 2009). Ante los lentes del microscopio, SOG23 se caracteriza por ser un coco Gram positivo. En otras palabras, ella tiene una forma circular y, después de realizar una tinción de Gram, proceso que implica el sometimiento de las bacterias a diversos químicos abrasivos, se torna de color violeta (**Figura 2.2.4.**).

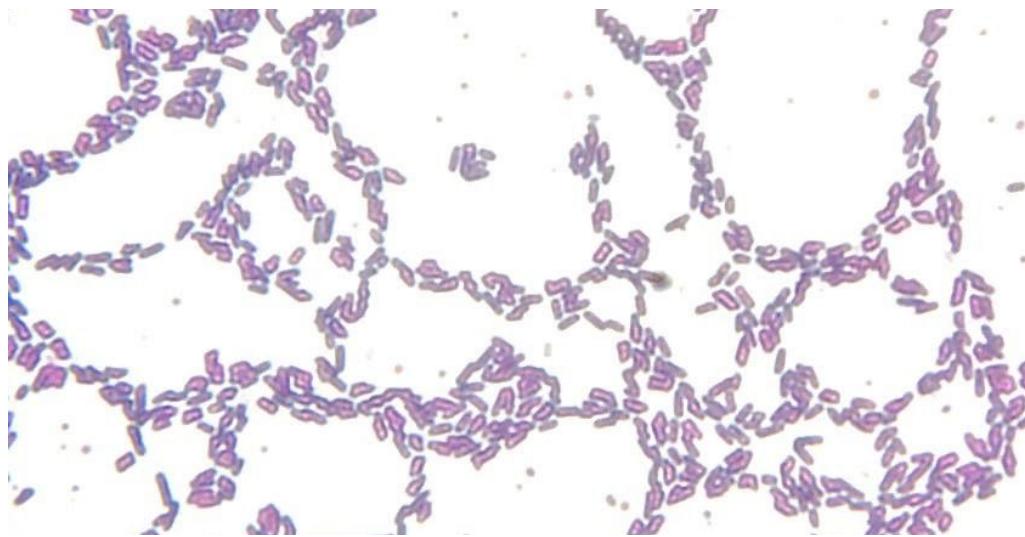


Figura 2.2.4. Tinción Gram de SOG23 vista al microscopio con aumento 100X.

Trabajar con SOG23 es tan ameno como tedioso. Debido a su textura cremosa es fácil tomarla con el aro del asa y ponerla a crecer dentro de cualquier medio de crecimiento. A pesar de que SOG23 no se resista al momento de tomarla para experimentar, su comportamiento a veces parece ser impredecible, y es por ello que en nuestro laboratorio, a parte de su distintivo color, es reconocida por su “rebeldía”, como lo señaló Vanessa una vez. Recuerdo un día que había montado un experimento en el cual inocularíamos algunas plantas de arroz con las bacterias, para lo cual desarrollé un experimento por más de dos semanas, y uno de los pasos intermedios del proceso implicaba cultivar a todas las bacterias al mismo tiempo en sus respectivas cajas de Petri. Cuando esperé el tiempo de crecimiento todas las bacterias habían crecido, a excepción de SOG23.

Otro caso que recuerdo en particular con SOG23, que fue jocoso para mí, fue cuando Sandra y yo íbamos a incubar todas las bacterias a 28°, temperatura a la cual ponemos todas las cajas de Petri que cultivamos para estimular el crecimiento de ellas. Justo antes de ponerlas

dentro del horno, Sandra, cansada de que SOG23 no creciera, me dijo con tono de desesperación que “deberíamos poner a SOG23 envuelta en aluminio y dejarla en el mesón a temperatura ambiente, a ver si así le da la gana de crecer”. Esta decisión que Sandra tomó, que parece ser arbitraria, tiene un fundamento, y es que en la literatura se ha reportado que algunas cepas de SOG23 tienen la capacidad de crecer bien entre los 4-30° (Singh et al., 2016), por lo cual la temperatura ambiente, que en el laboratorio es de alrededor de 25°, se presenta como una forma de encontrar una temperatura óptima de crecimiento. Respecto al aluminio, usualmente las envolvemos en éste para promover el crecimiento de las bacterias en general. Así pues, a veces debemos tratar a SOG23 de manera diferencial respecto al trato que le damos a las demás bacterias, pues en distintos experimentos que hemos realizado en el laboratorio ella simplemente no crece.

Como se puede empezar a pensar, SOG23 es muy sensible a los cambios que se presenten en su ambiente. Es por ello que cuando la ponemos a vivir en otros medios que no satisfagan por completo sus requerimientos ella no crece. Esto se evidenció, por ejemplo, cuando la pusimos a crecer sobre un medio llamado YM. El cambio fue tan grande, que a penas la vimos Sandra me dijo “¿si ve lo que un cambio de medio le puede hacer a una bacteria? Antes era rosada, crecía bien... ahora está opaca y está inhibida”. Si la apreciamos bien, ha perdido su color refulgente característico. Esto es algo importante que debe ser tenido en consideración, pues la susceptibilidad de las bacterias ante los entornos cambiantes no es una característica deseada dentro de los intereses de producción de altos rendimientos en los menores tiempos posibles, pues ello puede diezmar las poblaciones bacterianas y condicionar sus comportamientos en condiciones agrestes.

SOG4

SOG4, *Pantoea agglomerans* (Ewing y Fire, 1972), antes conocida como *Enterobacter agglomerans*, también vivió un cambio en su denominación, pues información filogenética sugeriría que debía constituirse un nuevo género, *Pantoea*, que fuera independiente de *Enterobacter*. En especial, la aparición del género *Pantoea* fue muy significativo, pues un gran número de representantes de las enterobacterias se caracterizan por ser patógenas para los humanos. Hay numerosos reportes que identifican a *P. agglomerans* como una bacteria patógena para los humanos, no obstante, dicha evidencia ha sido desmentida (Rezzonico et al., 2009).

En general, *P. agglomerans* también es conocida por su habilidad de producir antibióticos, por lo que compite con determinados patógenos de plantas que resulta de gran interés en la agricultura. Además de ello, se ha reportado que tiene propiedades de bioremediación. Finalmente, por fuera de la producción de compuestos promovedores del crecimiento vegetal, algunas moléculas producidas por ella han demostrado un efecto positivo en condiciones médicas como úlceras, diabetes, hiperlipidemia, entre otras (Dutkiewicz, Mackiewicz, Lemieszek, Golec, & Milanowski, 2016).

Las dicotomías que se presentan con esta bacteria conducen a que dentro de la comunidad microbiológica sea conocida como “una misteriosa bacteria del mal y del bien” (Dutkiewicz et al., 2016). Es por ello que, aunque no se nieguen sus propiedades que catalogamos como “buenas”, aún se mantiene una resistencia al momento de aproximarse a ella. Esto lo pude observar una vez, cuando un profesor de microbiología le dijo a una compañera en el marco de

su proyecto de investigación “ten cuidado con esa *Pantoea*, ellas antes estaban clasificadas dentro de las Enterobacterias, uno nunca sabe”.

En agar nutritivo, las colonias de SOG4 son de color amarillo pálido, de unos 3mm de diámetro, circulares, con bordes enteros, aspecto mucoso brillante y elevación convexa (**Figura 2.2.3.**). Al microscopio se reconoce como un bacilo Gram negativo.

Trabajar junto a SOG4 en el laboratorio ha sido muy agradable. Ha sido una bacteria que siempre muestra buen crecimiento en todas las condiciones en las que la ponemos y también ha sido la única bacteria que ha mostrado resultados positivos en las pruebas bioquímicas realizadas dentro del laboratorio. Sumado a esto, Sandra, mi compañera de laboratorio, había tenido la experiencia de trabajar con SOG4 previamente, donde evaluó la tasa de supervivencia de dicha bacteria en biocarbón, una suerte de fertilizante. A partir de sus resultados logró encontrar que SOG4 era la bacteria que más lograba sobrevivir a tales condiciones. Debido a todo esto, hemos prestado atención especial a SOG4, pues es la candidata más promisoria de todas, lo que ha conducido a que se haya vuelto, de alguna forma, en nuestra consentida.

SOG7

El nombre *Kocuria rosea* (Flugge, 1886), SOG7, alude al color rosado que se ha observado en algunas cepas. Aunque es una bacteria no patógena, se ha reportado que puede ser oportunista en el caso de pacientes inmunosuprimidos (Purty et al., 2013). Esta bacteria ha sido relacionada con su capacidad de biodegradación de tintes y bioremediación de suelos (Mohammadzadeh, Tavakoli, Motesharezadeh, & Chaichi, 2017; Parshteti, Kalme, Saratale, & Govindwar, 2006). A su vez, se ha considerado

Las colonias de SOG7 son de color salmón, miden alrededor de 4mm, son circulares, con bordes enteros y elevación convexa (**Figura 2.2.3.**). Al microscopio se observa como un coco Gram positivo. En especial, SOG7 se caracteriza para nosotros por ser una bacteria muy cremosa; cuando vamos a experimentar con ella y queremos tomar muestras de sus colonias, ya sea con un hisopo o con el asa, es muy fácil tomarlas. SOG7 ha sido una bacteria con la que es fácil trabajar, pues se desarrolla bien en los medios en los que se la pone. Podríamos decir que, entre todas, ella es la que muestra el mejor crecimiento; siempre muestra colonias grandes y numerosas.

SOG32

Por su parte, de SOG32, *Pseudomonas psychrotolerans* (Hauser, Kämpfer, & Busse, 2004), no se conoce mucho. Ella recibe su nombre debido a su capacidad de crecer a bajas temperaturas. De acuerdo a estudios recientes, se ha comprobado que *P. psychrotolerans* promueve el crecimiento vegetal por medio de la fijación de nitrógeno (Liu et al., 2017).

Las colonias de SOG32 tienen una forma irregular, con bordes festoneados, miden alrededor de 5mm, de color amarillo intenso, opaca, crateriforme y de elevación umbonada (**Figura 2.2.3.** y **Figura 2.2.6.**). Al microscopio se ve como un bacilo Gram negativo. Algo interesante de SOG32 es que aunque sus colonias parezcan ser algo cremosas recién crece, cuando ella lleva un par de días sobre el agar, como lo señala Sandra, “parece ceniza, y cuando la toca se desintegra como cuando se quema un papel y se vuelve ceniza”. Esto es algo que hasta el momento no hemos notado en ninguna otra bacteria, y aún no hemos descifrado a qué se debe este comportamiento que, por ahora, relacionamos con su edad.

La característica particular de SOG32 conduce a que a veces sea difícil experimentar con ella, pues usualmente es difícil manipularla y nos conduce a esfuerzos extra, ya que las herramientas que usamos en el laboratorio para tomar a las bacterias están pensadas para bacterias cremosas, no para bacterias con esta textura. Aquí podemos empezar a notar algo, y es que las bacterias con las que preferimos trabajar son las que no oponen resistencia a las investigadoras de ninguna forma. No obstante, como se puede observar en los resultados, SOG32 es una de las bacterias más promisorias para promover el crecimiento de las plantas.



Figura 2.2.6. *Colonias de SOG32.*

SOG33

Pseudarthrobacter defluvii (Kim et al., 2008), SOG33, debe su nombre al cuerpo de aguas servidas de la cual se identificó por primera vez. Ella también vivió un proceso de cambio

de género, pues antes pertenecía a *Arthrobacter*, pero la información filogenética sugería que tenía más relación con *Pseudarthrobacter* (Busse, 2016). Hasta el momento, no logré hallar registros en los que se hubiera relacionado a *P. defluvii* como una bacteria promotora del crecimiento vegetal, lo que sugiere que el trabajo presente sería uno de los primeros estudios realizados con ella dentro de este contexto.

Las colonias de SOG33 se caracterizan por tener su color amarillo, forma irregular, tener 5mm de diámetro, bordes festoneados, aspecto cremoso y opaco y por su elevación umbonada (**Figura 2.2.3.**). Al microscopio se ve como un bacilo Gram negativo. Trabajar con SOG33 a veces se torna complicado, pues si se compara con las demás bacterias del cepario su crecimiento es muy lento. Es por ello que a veces en el laboratorio entramos en aprietos, pues para disminuir sesgos en nuestros experimentos siempre procuramos trabajar con todas las bacterias al mismo tiempo y bajo las mismas condiciones. No obstante, dado el ritmo de crecimiento particular de SOG33, a veces no muestra colonias lo suficientemente formadas como para trabajar con ellas en el momento en el que las demás bacterias sí lo hacen. Debido a ello, y a sus respuestas negativas dentro de los experimentos de identificación de compuestos promotores del crecimiento vegetal, SOG33 ha estado de alguna forma fuera de nuestros intereses.

Conclusiones

Hay algunas bacterias que no son muy sociales, pues provincializan espacios más rápido que unas especies y/o producen sustancias que inhiben el crecimiento de otras. La mayoría de bacterias de nuestro laboratorio, aunque promueven el crecimiento de las plantas, resultan ser antagónicas entre sí. SOG4, *P. agglomerans*, SOG7, *K. rosea*, SOG23, *A. agilis*, SOG32, *P.*

psychrotolerans, y SOG33, *P. defluvii*, aparecen como cepas que tienen la capacidad de convivir juntas. Además de ello, según los registros del laboratorio, ellas son las que más producen compuestos promotores del crecimiento vegetal. Es por ello que propongo trabajar con conjunto con estas 5 bacterias como candidatas a ser parte del biofertilizante.

De acuerdo a las pruebas microbiológicas y bioquímicas que realizamos en el laboratorio, solo SOG4 y SOG32 tienen la habilidad tanto de producir sideróforos como de sintetizar auxinas. Aunque otros investigadores hayan identificado estas habilidades para *P. agglomerans*, parece ser la primera vez que se reporta para *P. psychrotolerans*.

Las bacterias, aunque son irrisorias en nuestro entender, son capaces de grandes cosas. Ellas cuentan con una serie de atributos fisiológicos, moleculares y fenotípicos, producto de las condiciones en las cuales se han desarrollado, que son específicos para cada una de ellas. Esto, sumado a los comportamientos exhibidos por ellas en el laboratorio, me lleva a concluir que todos esos factores forjan una suerte de identidad para cada una de ellas, tal como lo sugieren mis observaciones en campo de ellas mismas y de las investigadoras. Lo anterior plantea la necesidad de conocer el comportamiento de cada bacteria con la que se desea trabajar, pues cada una tiene sus particularidades, sus ritmos de crecimiento, sus relaciones inter-especie y demás.

Referencias

- Balu-Rajeswari, C., Aguado-Santacruz, G. A., & Moreno-Gómez, B. (2015). Evaluation of the *Pantoea agglomerans* Siderophore Activity on Maize (*Zea mays L.*) Seedlings Grown in a Soil with Low Iron Bioavailability in the Greenhouse (pp. 282–286).
- Bergey, D. H. (2015). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. (W. B. Whitman, M. Goodfellow, P. Kämpfer, H.-J. Busse, M. E. Trujillo, W. Ludwig, & K. Suzuki, Eds.). Springer. <https://doi.org/10.1002/9781118960608>
- Busse, H. J. (2016). Review of the taxonomy of the genus *Arthrobacter*, emendation of the genus *arthrobacter* sensu lato, proposal to reclassify selected species of the genus *Arthrobacter* in the novel genera *Glutamicibacter* gen. Nov., *Paeniglutamicibacter* gen. nov., *Pseudogluta*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 66(1), 9–37.

<https://doi.org/10.1099/ijsem.0.000702>

Chalupowicz, L., Weinthal, D., Gaba, V., Sessa, G., Barash, I., & Manulis-Sasson, S. (2013).

Polar auxin transport is essential for gall formation by *Pantoea agglomerans* on *gypsophila*.

Molecular Plant Pathology, 14(2), 185–190.

<https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2012.00839.x>

Davidse, G., Sousa, S., & Chater, O. (1994). Alismataceae a Cyperaceae. In *Flora Mesoamericana*. Universidad Nacional Autóoma de México.

Dutkiewicz, J., Mackiewicz, B., Lemieszek, M. K., Golec, M., & Milanowski, J. (2016). *Pantoea agglomerans*: A mysterious bacterium of evil and good. Part IV. Beneficial effects. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 23(2), 206–222.

<https://doi.org/10.5604/12321966.1203879>

Hauser, E., Kämpfer, P., & Busse, H. J. (2004). *Pseudomonas psychrotolerans* sp. nov.

International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 54(5), 1633–1637.

<https://doi.org/10.1099/ijss.0.03024-0>

Karasawa, M. M. G., Vencovsky, R., Silva, C. M., Zucchi, M. I., Oliveira, G. C. X., & Veasey, E. A. (2007). Genetic structure of Brazilian wild rice (*Oryza glumaepatula* Steud., Poaceae) populations analyzed using microsatellite markers. *Genetics and Molecular Biology*, 30(2), 400–410. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572007000300017>

Koch, C., Schumann, P., & Stackebrandt, E. (1995). Reclassification of *Micrococcus agilis* (Ali-Cohen 1889) to the genus *Arthrobacter* as *Arthrobacter agilis* comb. nov. and emendation of the genus *Arthrobacter*. *International Journal of Systematic Bacteriology*,

45(4), 837–839. <https://doi.org/10.1099/00207713-45-4-837>

Kohn, E. (2007). How dogs dream: Amazonian natures and the politics of transspecies engagement. *American Ethnologist*, 34(1), 3–24. <https://doi.org/10.1525/ae.2007.34.1.3>

Kraehmer, H., Thomas, C., & Vidotto, F. (2017). *Rice Production Worldwide*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47516-5_4

Liu, R., Zhang, Y., Chen, P., Lin, H., Ye, G., Wang, Z., ... Ren, D. (2017). Genomic and phenotypic analyses of *Pseudomonas psychrotolerans* PRS08-11306 reveal a turnerbactin biosynthesis gene cluster that contributes to nitrogen fixation. *Journal of Biotechnology*, 253(February), 10–13. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2017.05.012>

Lynne, A. M., Haarmann, D., & Louden, B. C. (2011). Use of Blue Agar CAS Assay for Siderophore Detection. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 12(1), 51–53. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v12i1.249>

Madigan, M. T., Martinko, J. M., Dunlap, P. V., & Clark, D. P. (2009). *Brock. Biología de Los microorganismos* (12th ed.). Pearson.

Mohammadzadeh, A., Tavakoli, M., Motesharezadeh, B., & Chaichi, M. R. (2017). Effects of plant growth-promoting bacteria on the phytoremediation of cadmium-contaminated soil by sunflower. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(6), 807–816. <https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1235781>

Montejo-Mayo, W., Valencia-Cantero, E., López-Albarrán, P., Velázquez-Becerra, C., Montejo-Mayo, W., Valencia-Cantero, E., ... Velázquez-Becerra, C. (2016). Efecto de

Arthrobacter agilis UMCV2 sobre la germinación y crecimiento de *Pinus devoniana*

Lindley. *Polibotánica*, 0(41), 79–90. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.41.5>

Parshetti, G., Kalme, S., Saratale, G., & Govindwar, S. (2006). Biodegradation of malachite green by *Kocuria rosea* MTCC 1532. *Acta Chimica Slovenica*, 53(4), 492–498.

Purty, S., Saranathan, R., Prashanth, K., Narayanan, K., Asir, J., Devi, C., & Kumar, S. (2013). The expanding spectrum of human infections caused by *Kocuria* species: a case report and literature review. *Emerging Microbes and Infections*, 2(000), 0. <https://doi.org/10.1038/emi.2013.71>

Rezzonico, F., Smits, T. H., Montesinos, E., Frey, J. E., & Duffy, B. (2009). Genotypic comparison of *Pantoea agglomerans* plant and clinical strains. *BMC Microbiology*, 9. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-9-204>

Salkowski, E. (1885). Über das verhalten der skatolcarbonsaure im organismus. *Z Physiol Chem*.
Scott, J. (1998). *Seeing like a State: How certain schemes to improve the human condition have failed*. New Haven: Yale University Press.

Singh, R. N., Gaba, S., Yadav, A. N., Gaur, P., Gulati, S., Kaushik, R., & Saxena, A. K. (2016). First high quality draft genome sequence of a plant growth promoting and cold active enzyme producing psychrotrophic *Arthrobacter agilis* strain L77. *Standards in Genomic Sciences*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40793-016-0176-4>

Taiz, L., & Zeiger, E. (2015). *Plant Physiology*. Sinauer Associates (6th ed.). Sinauer. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg079>

Velázquez-Becerra, C., Macías-Rodríguez, L. I., López-Bucio, J., Flores-Cortez, I., Santoyo, G., Hernández-Soberano, C., & Valencia-Cantero, E. (2013). The rhizobacterium *Arthrobacter agilis* produces dimethylhexadecylamine, a compound that inhibits growth of phytopathogenic fungi in vitro. *Protoplasma*, 250(6), 1251–1262.

<https://doi.org/10.1007/s00709-013-0506-y>

Capítulo III

3. Planterias

“Comenzar a restaurar el cultivo de arroz multiespecie a áreas con monocultivos sería una transición muy difícil... Pero una muy importante”.
(Donna Haraway, comunicación personal, agosto 9 del 2019).

En el capítulo anterior logramos adentrarnos en el mundo de las bacterias; decodificamos la forma en la que los humanos, desde el laboratorio, podemos comunicarnos con ellas y, a su vez, les hicimos unas preguntas con el fin de conocer más de ellas y de sus mundos desde sus propias perspectivas. En el marco global de los experimentos realizados dentro del laboratorio de Fisiología Molecular Vegetal, dicha información es de utilidad para generar un perfil de las habilidades que cada una de las bacterias del cepario posee, y con ello identificar a las bacterias que podrían formar parte del biofertilizante.

Ahora bien, el entender cómo los humanos, más específicamente las científicas, nos relacionamos y dialogamos con las bacterias, nos provee de habilidades para escalar el proceso y aproximarnos a la forma en la que, específicamente, las plantas de arroz y las bacterias candidatas a formar parte del biofertilizante se relacionan, lo que compone el objetivo de este capítulo. Para lograrlo, me he propuesto a juntar a las bacterias mencionadas con algunas plántulas de arroz en escenarios que me permitan conocer y analizar la relación gestada. A partir de ello, identifico que después promover el encuentro entre plantas y bacterias, cuya metodología describo con precisión más adelante, el cuerpo de las plantas, a través de su crecimiento, exhibe el resultado de la interacción que se gesta entre ambas a nivel interno. De este modo, propongo que estos nuevos seres, parcialmente planta y parcialmente bacterias, a quienes llamo *planterias*, pueden ayudarnos a cristalizar un escenario transitorio en el que se integre la agricultura y la protección del medio ambiente a través de una nueva visión simpoyética de mundo en la que se desvanece la idea de individuo y predomina el trabajo cooperativo entre humanos y no-humanos.

Contacto entre plantas y bacterias

Como he mencionado en diferentes momentos en esta tesis, se ha identificado que algunas bacterias logran beneficiar el crecimiento de las plantas por medio de diversas estrategias (Hayat, Ali, Amara, Khalid, & Ahmed, 2010). La relación que puede generarse entre bacterias y plantas puede variar, no solo por el efecto que puedan generar en el crecimiento de la planta, como veremos más adelante, sino por su proximidad. Algunas bacterias tienen la capacidad de embeberse e incorporarse dentro de diversos órganos de las plantas y, a diferencia de las llamadas bacterias de vida libre, llegan a construir una relación más cercana con las plantas. Tal es el caso de las bacterias que aquí analizaremos, las endófitas: *endo-* dentro, y *phyton* – vegetal, que viven dentro de la planta, como lo sugiere su raíz griega.

Que las bacterias puedan vivir dentro de las plantas ha sido posible debido a que ambas, plantas y bacterias endófitas, han generado mecanismos de comunicación de doble vía. Para que este proceso tenga lugar, las plantas exudan compuestos por sus raíces, principalmente flavonoides, los cuales se anclan en receptores de membrana específicos de aquellas bacterias que previamente han colonizado la rizósfera y que están en la capacidad de comunicarse con esa especie de planta en particular (Afzal, Shinwari, Sikandar, & Shahzad, 2019). Una vez las bacterias identifican los compuestos provenientes de la planta, éstas se desplazan hacia la superficie de las raíces y se aferran a la planta por medio de polisacáridos, pilis o adhesinas bacterianas (Hori & Matsumoto, 2010). Estando ahí, las bacterias buscan sitios de entrada a la raíz, tales como heridas o lugares donde emergen raíces laterales para penetrar la planta (Afzal et al., 2019). De este modo, factores ambientales y genéticos determinan la comunicación de doble

vía entre plantas y bacterias, y con ello al proceso de provincialización endófita bacteriana (Hardoim, van Overbeek, & Elsas, 2008).

Debido a que las bacterias endófitas viven dentro del cuerpo de la planta, el resultado de la interacción interna entre ambas se puede exteriorizar a través del crecimiento que exhiben las mismas plantas. Es por ello que, después del encuentro entre plantas y bacterias, puede observarse cambios en la construcción de biomasa de las plántulas. Para poder conocer específicamente cómo es la interacción que se da entre las plantas de arroz y las bacterias endófitas candidatas a formar parte del biofertilizante que desarrollamos desde el laboratorio de Fisiología Molecular Vegetal de la Universidad Icesi, aprovecho el razonamiento anterior. Así pues, con Sandra, mi compañera y guía dentro del laboratorio, optamos por trabajar de la mano con plántulas de arroz que tuvieran tamaños semejantes entre sí, con el fin de garantizar la confiabilidad de las observaciones realizadas cuando éstas entraran en contacto con las bacterias.

Las semillas de arroz que apoyaron esta investigación provenían de la especie de arroz *Oryza sativa* variedad Fedearroz50, una de las variedades más importantes en la producción de arroz en Colombia. Dichas semillas fueron suministradas por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), una organización envuelta en el desarrollo y la expansión de cultivos de alto rendimiento para América Latina y otras partes del globo, la cuál ha sido considerada como una de las piedras angulares en el desarrollo de la Revolución Verde (CIAT, 2019; Lorek, 2016). Previo a promover la interacción de las plántulas de arroz con las bacterias, desde el laboratorio desinfectamos las semillas y facilitamos la incubación y el crecimiento de éstas bajo condiciones asépticas, cuidando del bienestar de las plantas, tal como lo describen Reyes-Loaiza, Posso y Ghneim-Herrera (2017) y Gómez-Martínez y Ghneim-Herrera (2018).

Como he señalado en capítulos anteriores, garantizar la asepsia y la integridad de los no-humanos es indispensable dentro del laboratorio, pues los mensajes que las científicas elaboramos desde el laboratorio para comunicarnos con estos seres suelen ser sensibles a los cambios, por lo que de existir interacción previa entre las plantas y otros microbios que desconociéramos, o de lacerar algún órgano de la plántula, se podría ver alterada la respuesta de crecimiento que observemos. Una vez más, se resalta la labor de las investigadoras como una suerte de veedoras que garantizan, a toda costa, que los mensajes enviados lleguen a los destinatarios específicos con el menor ruido posible. Es importante aclarar que, aunque se esterilice la superficie de las semillas, las plantas madre transmiten bacterias endófitas a toda su progenie, precisamente, por medio de las semillas (Robinson et al., 2016). De allí la importancia de trabajar con semillas provenientes de la misma planta, pues con ello se garantiza más la homogeneidad de todas las plantas.

Cuando las plantas alcanzaron el tamaño que consideramos adecuado, procedimos a facilitar el encuentro entre éstas y las bacterias. En el contexto de las ciencias naturales, tradicionalmente a este procedimiento tiende a llamársele como “inoculación”. No obstante, dicho término alude a que las científicas ponemos a las bacterias dentro de las plantas, como si ninguna de ellas tuviera agencia, así que evitaré usarlo, pues estos mecanismos de comunicación inter-especie son seculares. Nuestra labor no es más que la de ser facilitadoras de su interacción.

De este modo, Sandra y yo generamos suspensiones de cada una de las cepas candidatas a formar parte del biofertilizante ($7,5 \times 10^6$ UFC/mL). Como se describe en el capítulo anterior, las bacterias son SOG4 (*Pantoea agglomerans*), SOG7 (*Kocuria rosea*), SOG23 (*Arthrobacter agilis*), SOG32 (*Pseudomonas psychrotolerans*) y SOG33 (*Pseudarthrobacter defluvii*). A su

vez, contamos con una suspensión que agrupaba a las 5 especies bacterianas juntas en la misma proporción (concentración final de $7,5 \times 10^6$ UFC/mL) con el fin de aproximarnos a conocer la interacción que sucede, simultáneamente, entre las 5 especies de bacterias (TODAS) y la plántula en cuestión. Asimismo, se tenía una solución que únicamente contenía agua estéril, pues en vista de que el resultado del diálogo interno mantenido entre plantas y bacterias se expresa en el crecimiento de las primeras, el crecimiento de las plantas sin bacterias (CTR) nos ayuda a comprender mejor el efecto que se genera entre las plantas que sí tienen bacterias al comparar sus crecimientos. Facilitamos el encuentro inter-especies al sumergir las raíces en las siete suspensiones, con cinco plantas por escenario, de acuerdo a lo descrito por Gómez-Martínez y Ghneim-Herrera (2018) (**Figura 3.1**).



Figura 3.1. Encuentro entre plántulas de arroz y bacterias endófitas en el laboratorio.

Una vez realizado lo anterior, dispusimos cada planta en un montaje especial (**Figura 3.2.**) para permitirles sostenerse erguidas sin lastimar sus raíces dentro de una solución que contenía nutrientes con el fin de promover el crecimiento de las plantas y las bacterias (Gómez-Martínez & Ghneim-Herrera, 2018). Para la comunidad de científicos naturales, este montaje permite, además, aislar a cada planta de su entorno, lo que justificamos como una estrategia para disminuir los riesgos de que entren en contacto con otros microbios indeseados, y con ello de reducir sesgos en la interpretación de las observaciones. Las plantas permanecieron aisladas con sus nuevas compañeras bacterianas, interactuando mutuamente, aprovechando los nutrientes y las condiciones de luz (12h/día) y temperatura (20°) con las que las suplimos por una semana.



Figura 3.2. Montaje para el crecimiento de las plántulas asociadas con bacterias endófitas en el laboratorio.

Pasados 10 días del crecimiento de las plantas en el montaje anterior pasamos las plantas al invernadero, de acuerdo a la metodología descrita por Moreno y Ghneim-Herrera (2018). Sin embargo, las plántulas no resistieron las condiciones de estrés que este cambio trajo consigo y muchas de ellas murieron, lo que me demostró, como sugirió alguna vez Scott (1998), que al aislarlas de su entorno y manipular sus procesos arbitrariamente las plantas se hacen, de alguna forma, incapaces de vivir en condiciones “hostiles” que otrora eran cotidianas.



Figura 3.3. Medios de crecimiento de las plantas asociadas con bacterias endófitas.

Así pues, llevamos a cabo la misma metodología una vez más, pero en lugar de sembrar las plantas en el invernadero optamos por escucharlas dentro del laboratorio bajo condiciones controladas (**Figura 3.3.**). Esto es algo que, sin duda, debe ser considerado al momento de interpretar el documento. En esta oportunidad esperamos 15 días, haciendo un recambio de la solución nutritiva en la que estaban dos veces por semana, hasta que las plantas mostraron diferencias significativas que nos permitieran comprender la relación dada entre las plántulas de arroz y las bacterias candidatas. Luego de ello, y con cierta amargura, sacrificué las plantas y tomé medidas de la cantidad de hojas de cada planta, del peso seco de sus raíces y del largo y

ancho de cada hoja, tal como se sugiere hacer desde las ciencias naturales (Tamreihao et al., 2016).

Debido al contexto de laboratorio en el cual nos hemos sumergido, decidí analizar también mis observaciones por medio de métodos cuantitativos, que son aquellos que reciben un mayor grado de validación por parte de la comunidad de científicos naturales. Esto, una vez más, nos permite integrar diferentes formas de ver y de construir conocimiento. Por ello, después de corroborar que el promedio del área foliar (calculado con el largo y ancho foliar) de las plántulas de cada tratamiento se distribuía de manera normal y sus varianzas eran homogéneas (datos no mostrados), procedí a realizar una ANOVA con pruebas paramétricas, empleando un índice de confianza del 95% (ver anexos). Debido a que los datos del peso seco radicular no se distribuían de manera normal, realicé una prueba no paramétrica para el análisis de los datos (ver anexos).

Planterias en la creación de nuevos mundos

Investigaciones en condiciones de laboratorio, invernadero y campo ya han probado que distintos microbios tienen la capacidad de realizar acciones que conducen al aumento del crecimiento de las plantas de arroz de manera sustancial (Ansari, Tipre, & Dave, 2014; Gamal-Eldin & Elbanna, 2011; Jochum, Moncayo, & Jo, 2018; Kantachote, Nunkaew, Kantha, & Chaiprapat, 2016; Khan, 2018; Tamreihao et al., 2016). Esta información nos demuestra que es posible conducir a una reducción en el uso de fertilizantes inorgánicos en la agricultura, y con ello se materializa la idea de cuidado del medio ambiente. Hasta aquí uno podría relacionar a los biofertilizantes con cualquier otra estrategia que busque hacer la agricultura más sustentable, como el uso de inhibidores de la nitrificación, la implementación de inhibidores de la ureasa y el empleo de fertilizantes nitrogenados de liberación lenta (Kraehmer, Thomas, & Vidotto, 2017).

No obstante, identifico que pensar en biofertilizantes tiene una carga simbólica diferente, pues implica pensar en generar alimentos y proteger al medio ambiente a través del trabajo cooperativo entre plantas y bacterias. Los artículos respecto a biofertilizantes no suelen proveernos discusiones que nos permitan comprender cómo los biofertilizantes, a través del trabajo cooperativo con plantas y bacterias, se inscriben dentro de un contexto de relaciones entre sujetos humanos y no-humanos más complejo, el cual va más allá del análisis de los fenómenos biofísicos y de los datos aislados y auto contenidos obtenidos dentro de los discursos positivistas. En otras palabras, estos estudios, aunque pertinentes, no tienden a contemplar la capacidad que ello tiene para transformar la forma en la que podemos concebir nuestra forma de relacionarnos no solo con la agricultura, sino con otros seres y con el mundo en general.

Como señalé con anterioridad, en esta investigación buscamos ahondar en la interacción que se da entre las plántulas de arroz y las bacterias endófitas candidatas a formar parte del biofertilizante propuesto desde el laboratorio de Fisiología Molecular Vegetal de la Universidad Icesi. En primera instancia, logramos apreciar, cualitativa y cuantitativamente, que el resultado del encuentro entre las plantas de arroz y las bacterias endófitas se expresa a través del crecimiento diferenciado de la nueva asociación (**Figura 3.3, Figura 3.4, Gráfica 3.1. y Gráfica 3.2.**). A partir de esto se presenta un interrogante, y es si podemos considerar que el crecimiento que observamos es, efectivamente, el de las plantas, o si se trata, por el contrario, de la unión y cooperación entre plantas y bacterias, pues, si lo pensamos, ¿dónde termina la bacteria y dónde comienza la planta? Desde el laboratorio, por medio de procesos de transformación genética con genes fluorescentes y el uso de microscopía de epifluorescencia, por ejemplo, bien podríamos identificar, dentro del paradigma científico, lo que es la bacteria y lo que es la planta. No

obstante, ¿de dónde subyace la idea a la que muchos nos acogemos según la cual buscamos separar y generar barreras entre ellas cuando, evidentemente, están amalgamadas dentro del mismo ser?



Figura 3.4. Comparación del crecimiento de las plantas asociadas con bacterias endófitas.

La idea de la ruptura de las interconexiones entre seres humanos y no-humanos es algo que se ha venido gestando desde siglos atrás con la separación de la “naturaleza” y el “hombre”. Más recientemente, con la apropiación del discurso de producción de máximos rendimientos en el menor tiempo posible, catapultado por la Revolución Verde, se materializó dicha separación. En este contexto, los bosques y policultivos se transformaron en monocultivos y las diversas especies y variedades a cultivar se redujeron drásticamente, pues bajo tales modelos de pensamiento resultaba más productivo simplificar las relaciones y tener cultivos homogéneos, con plantas genéticamente similares, de la misma edad y alineadas, donde diversas variables que incidían en la producción de las plantas estarían controladas por los humanos (Scott, 1998). Con ello, se estrechó la forma de concebir a las plantas, las empezamos a construir en nuestros imaginarios no solo como dóciles, sino como seres aislados. Estas ideas de ruptura en las relaciones entre especies se ven reflejadas, además, en los pensamientos de Darwin (1859), quien planteó que la selección natural era el mecanismo que operaba tras la evolución de las especies y, en sus propuestas, pensaba el fenómeno como un proceso competitivo, en el cual los organismos se caracterizaban por ser separados, autodeterminados, cerrados y autónomos, autopoyéticos. Todos estos discursos y prácticas que se han hecho hegemónicos han conducido, a su vez, a que en la actualidad diversos individuos seamos incapaces de reconocer las redes de relaciones que existen entre los distintos seres que habitamos este planeta.

En la década de 1960 Lynn Margulis propuso una teoría evolutiva diferente a la aportada por Darwin. Margulis logró demostrar que las bacterias constituirían también un motor evolutivo

sui géneris. De acuerdo con su propuesta, estructuras vitales como las mitocondrias y los plastidios habrían evolucionado a partir de las bacterias, mediante un proceso denominado endosimbiosis. Según este proceso, un organismo, en este caso procariota, engulló e hizo parte de sí mismo a otro, lo que dio paso a los organismos eucariotas (Margulis, 2002). De este modo, se puede proponer que las bacterias, mediante un proceso de incorporación dentro de otros seres, consolidaron la piedra angular de nuestra evolución. De hecho, biólogos evolutivos, como Ernst Mayr, plantean que “la evolución de las células eucariotas fue el evento más importante en la historia del mundo orgánico” (Teresi, 2011).

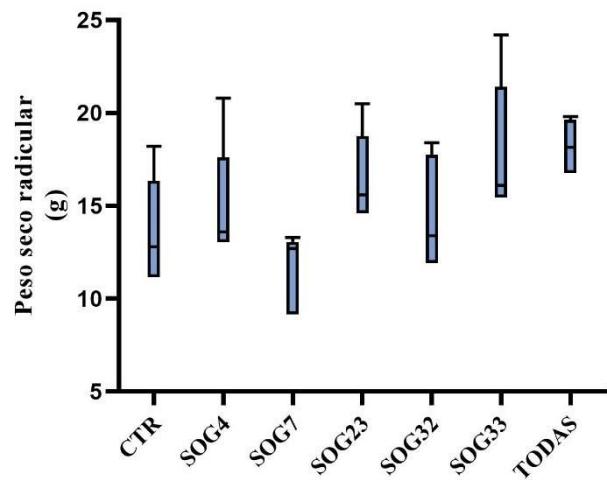
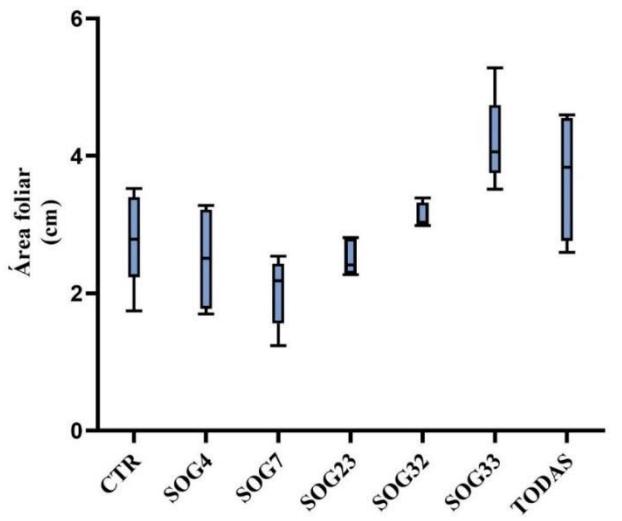
Los pensamientos de Margulis no solo permiten generar una teoría diferente a la de la evolución neo-darwinista, sino que con ello abre paso a poner en tela de juicio la idea misma de individuo que algunas personas tenemos en la actualidad. Según lo expuesto anteriormente, los seres vivos hemos surgido permeados y envueltos en medio de bacterias, lo que conlleva a pensar a los organismos no como autopoyéticos, sino como simployéticos (Haraway, 2016).

Pensar en simployesis debe conducirnos a ver a los organismos como partes de *figuras de cuerda*, como constituyentes de relaciones de múltiples especies, como resultado de un complejo de relaciones de seres sobre el mismo ser, donde los organismos pasamos a ser extensiones unos de otros y cohabitamos de forma tentacular las madejas de relaciones (Dempster, 1998; Haraway, 2016; Margulis, 2002).

A partir de esto es que afirmo que cuando observamos la **Figura 3.2** Y la **Figura 3.2** no estamos viendo solo a unas plantas, apreciamos el resultado de la interacción de al menos dos especies dentro de un mismo ser. No hay, pues, una separación entre planta y bacteria, son más que planta y más que bacteria, y esto es algo que la misma información que aquí registro, tanto

cualitativa como cuantitativa, nos dice a gritos. Las plantas no están interiorizando sólo nutrientes a manera de tratamiento, desde el laboratorio les ofrecemos la oportunidad de incorporar e integrar dentro de sí mismas organismos bacterianos con los cuales pueden construir en conjunto. Margulis (1991) ya se había referido a estos seres amalgamados como holobiontes, pero yo quisiera proponer llamarles a estos organismos, parcialmente plantas y parcialmente bacterias, planterias.

Al analizar por separado el resultado de la interacción de las plántulas y las bacterias a través del crecimiento de las planterias, de acuerdo a las especies bacterianas involucradas en cada relación, podemos sugerir que, aunque no haya diferencias entre el número de hojas que tienen las plantas en este estadio (información no mostrada), sí se observan diferencias en la producción radicular y, con más ahínco, en el área foliar de las planterias ($p=0,000$, ver anexos).



Gráfica 3.1. Promedio de área foliar por planteria.

Gráfica 3.2. Promedio peso seco radicular por planteria.

A partir de la información registrada, identificamos que la construcción de biomasa aérea de las planterias Fedearroz50-SOG33, expresada a través del área foliar (**Gráfica 1**), muestra un crecimiento mayor al de las plántulas Fedearroz50-SOG23, Fedearroz50-SOG4 y las plántulas control, lo que también se hace notorio cualitativamente (**Figura 3.3** y **Figura 3.4**. Ver anexos). Esta información es novedosa, pues hasta el momento no se había asociado a la bacteria SOG33 (*P. defluvii*) como endófita en la literatura, y mucho menos como promotora del crecimiento vegetal, lo que sugiere que esta es la primera vez que se reporta dicha información. Algo de notar es que, según los ensayos realizados en nuestro laboratorio, SOG33 no exhibe producción de sideróforos ni síntesis de auxinas (ver capítulo 2.2), lo que sugiere que dicha bacteria posee propiedades promotoras del crecimiento que no han sido identificadas aún. Futuras observaciones de SOG33 podrían ofrecernos un mayor entendimiento de las interacciones que hacen a nivel molecular dentro de las planterias Fedearroz50-SOG33 y que se reflejan en tan notorio crecimiento.

En contraposición al escenario observado las plántulas Fedearroz50-SOG33, se encuentran las planterias Fedearroz50-SOG7. Tal como se puede apreciar cualitativa (**Figura 3.3** y **Figura 3.4**) y cuantitativamente (**Gráfica 3.1** y **Gráfica 3.2**. Ver anexos), la producción de biomasa aérea y radicular es inferior al de otras planterias. Aunque SOG7 hubiera sido aislada de *Oryza glumaepatula* y se hubiera identificado como promotora del crecimiento vegetal en nuestro laboratorio, esta información apunta a que la interacción dada entre SOG7 (*K. rosea*) y *O. sativa* cv. Fedearroz50 podría inhibir el crecimiento de la planteria.

Un elemento para tener en consideración dentro del análisis de los resultados de estos experimentos es que las plantas crecieron en una solución nutritiva, F10, la cual proveía lo que consideramos como todos los nutrientes necesarios para el crecimiento óptimo de éstas, incluidas las plantas que no estuvieron en contacto con bacterias. Como ejemplo de ello, tenemos que en la solución F10 se encuentra el hierro con EDTA, un compuesto que solubiliza dicho metal y hace que las plantas puedan asimilar fácilmente el metal. A partir de esto, aunque se haya identificado previamente que bacterias como SOG4 y SOG32 producen sideróforos, compuestos que también solubilizan el hierro (ver capítulo 2.2), bajo estas condiciones no se logaría percibir un efecto de ello. No obstante, al momento de ver la información cualitativa (**Figura 3.3** y **Figura 3.4**) y cuantitativamente (**Gráfica 3.1** y **Gráfica 3.2**) reportada, podemos apreciar que algunas planterias, como las formadas por la unión de todas las bacterias, tienden a tener una producción de biomasa aérea y radicular mayor que las plántulas control, aunque estadísticamente no sea significativo (ver anexos). Partiendo de esto, afirmo que el efecto del crecimiento gestado en la interacción interna de las planterias no es el máximo, está enmascarado. De este modo, podemos posicionar al menos a las planterias Fedearroz50 – SOG33 y Fedearroz50-SOG4-SOG7-SOG23-SOG32-SOG33 como sujetos de interés dentro de los desarrollos de agricultura sustentable. No obstante, sigue siendo necesario escalar estos ensayos a condiciones de invernadero y campo para realizar estar aseveraciones con mayor propiedad.

Reflexiones finales

En la actualidad ya se han identificado otras formas tentaculares de concebir las relaciones humanas y no-humanas. Un ejemplo de ello es la identificada por Marisol de la Cadena (2015), en la que sugiere que hay comunidades humanas que se comprenden a sí mismas no como individuos, sino como interconexiones humanas y no-humanas. Asimismo, desde hace mucho tiempo algunos campesinos e indígenas les han dado reconocimiento y espacio a los vínculos humanos y no-humanos dentro de sus prácticas agrícolas. Es por ello que los análisis que aquí hago frente a otras a estas formas de comprendernos a los seres humanos y no-humanos de forma tentacular, más precisamente dentro la agricultura, no son, como tal, un descubrimiento. Además de ello, como mencioné a inicio de este capítulo, estas relaciones no-humanas entre plantas y bacterias ya existían de manera secular y también habían sido reportadas previamente en la literatura científica.

No obstante, al aproximarnos al análisis más estadístico de la interacción que observamos entre las plántulas de arroz y las bacterias endófitas candidatas a formar parte del biofertilizante que proponemos en nuestro laboratorio, con las llamadas planterias, identifico un camino viable para condensar los planteamientos teóricos de generación de mundos simbólicos, los cuales se gestan desde los mismos sitios de poder donde se produce el conocimiento tecnocientífico que determinan los discursos y las prácticas agrícolas hegemónicas.

Los beneficios que esto tiene trasciende más allá de garantizar la protección del medio ambiente, ya que a través de los biofertilizantes también se puede transformar la forma de pensar y hacer agricultura, replantear la forma de relacionarnos con los no-humanos, propiciar la amalgamación entre múltiples especies en nuestro día a día, y con

ello hacer del mundo un espacio donde podamos florecer en conjunto. De allí la importancia de los biofertilizantes, pues por medio de ellos podemos empezar a hegemonizar formas de hacer agricultura que puedan sentipensar más en resonancia con el planeta y con los distintos seres que en él habitamos.

Referencias

- Afzal, I., Shinwari, Z. K., Sikandar, S., & Shahzad, S. (2019). Plant beneficial endophytic bacteria: Mechanisms, diversity, host range and genetic determinants. *Microbiological Research*, (221), 36–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.02.001>
- Ansari, M. F., Tipre, D. R., & Dave, S. R. (2014). Efficiency evaluation of commercial liquid biofertilizers for growth of *Cicer arietinum* (chickpea) in pot and field study. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2014.09.010>
- CIAT. (2019). Arroz. Retrieved February 27, 2019, from <https://ciat.cgiar.org/lo-que-hacemos/mejoramiento-de-cultivos/arroz/?lang=es>
- Darwin, C. (1859). *On The Origin of Species by Means of Natural Selection, or Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. London: John Murray. Retrieved from http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1861-OriginNY_F382.pdf
- De la Cadena, M. (2015). *Earth Beings: Ecologies of Practice Across Andean Worlds*. London: Duke University Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1215/9780822375265>
- Dempster, B. (1998). *A Self-organizing Systems Perspective on Planning for Sustainability*. University of Waterloo.
- Gamal-Eldin, H., & Elbanna, K. (2011). Field Evidence for the Potential of *Rhodobacter capsulatus* as Biofertilizer for Flooded Rice. *Current Microbiology*, 62(2), 391–395. <https://doi.org/10.1007/s00284-010-9719-x>
- Gómez-Martínez, L. A., & Ghneim-Herrera, T. (2018). *Optimización de un protocolo*

experimental para el análisis de la interacción de la bacteria endófita SOG26 con Oryza sativa. Universidad Icesi.

Haraway, D. (2016). *Staying with the trouble : making kin in the Chthulucene*. Duke University Press.

Hardoim, P. R., van Overbeek, L. S., & Elsas, J. D. van. (2008). Properties of bacterial endophytes and their proposed role in plant growth. *Trends in Microbiology*, 16(10), 463–471. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2008.07.008>

Hayat, R., Ali, S., Amara, U., Khalid, R., & Ahmed, I. (2010). Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. *Annual Review of Microbiology*, (60), 579–598. <https://doi.org/10.1007/s13213-010-0117-1>

Hori, K., & Matsumoto, S. (2010). Bacterial adhesion: From mechanism to control. *Biochemical Engineering Journal*, 48(3), 424–434. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2009.11.014>

Jochum, M., Moncayo, L. P., & Jo, Y. K. (2018). Microalgal cultivation for biofertilization in rice plants using a vertical semi-closed airlift photobioreactor. *PLoS ONE*, 13(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203456>

Kantachote, D., Nunkaew, T., Kantha, T., & Chaiprapat, S. (2016). Biofertilizers from Rhodopseudomonas palustris strains to enhance rice yields and reduce methane emissions. *Applied Soil Ecology*, 100, 154–161. <https://doi.org/10.1016/J.APSoIL.2015.12.015>

Khan, H. I. (2018). Appraisal of Biofertilizers in Rice: To Supplement Inorganic Chemical Fertilizer. *Rice Science*, 25(6), 357–362. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2018.10.006>

Kraehmer, H., Thomas, C., & Vidotto, F. (2017). *Rice Production Worldwide*. Springer.

https://doi.org/10.1007/978-3-319-47516-5_4

Lorek, T. (2016). The Rockefeller Foundation and Agricultural Development in Colombia's Cauca Valley 1940-1980. *Rockefeller Archive Center Research Reports*.

Margulis, L. (2002). *Planeta Simbiótico*. Madrid: Editorial Debate. Retrieved from <http://www.medicinayarte.com/img/margulis-lynn-planeta-simbiotico.pdf>

Margulis, L., & Fester, R. (Eds.). (1991). *Symbiosis as a Source of Evolutionary Innovation: Speciation and Morphogenesis*. MIT Press.

Moreno-Riascos, S. P., & Ghneim-Herrera, T. (2018). *Formulación de biocarbonos derivados de cascarilla de arroz enriquecidos con bacterias promotoras del crecimiento vegetal*. Universidad Icesi.

Reyes Loaiza, V., Posso, D., & Ghneim-Herrera, T. (2017). *Evaluación de la relación entre el grado de metilación de pectinas de la pared celular en células de la raíz y la tolerancia al aluminio en genotipos de las especies de arroz *Oryza sativa* y *Oryza gluamepatula**.

Universidad Icesi. Retrieved from

https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/82454/1/TG01632.pdf

Robinson, R. J., Fraaije, B. A., Clark, I. M., Jackson, R. W., Hirsch, P. R., & Mauchline, T. H. (2016). Wheat seed embryo excision enables the creation of axenic seedlings and Koch's postulates testing of putative bacterial endophytes. *Scientific Reports*, 6(April), 1–9. <https://doi.org/10.1038/srep25581>

Scott, J. (1998). *Seeing like a State: How certain schemes to improve the human condition have failed*. New Haven: Yale University Press.

Tamreihao, K., Ningthoujam, D. S., Nimaichand, S., Shanta Singh, E., Reena, P., Herojeet Singh, S., & Nongthomba, U. (2016). Bioccontrol and plant growth promoting activities of a *Streptomyces corchorusii* strain UCR3-16 and preparation of powder formulation for application as biofertilizer agents for rice plant. *Microbiological Research*, 192, 260–270.
<https://doi.org/10.1016/j.micres.2016.08.005>

Teresi, D. (2011, June 17). Discover Interview: Lynn Margulis Says She's Not Controversial, She's Right. *Discover Magazine*. Retrieved from
<http://discovermagazine.com/2011/apr/16-interview-lynn-margulis-not-controversial-right>

Anexos

1. ANOVA del promedio del área foliar.

Coeficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante	2,989	0,104	28,80	0,000	
Inóculo					
CTRL	-0,176	0,251	-0,70	0,487	1,55
SOG23	-0,474	0,251	-1,89	0,069	1,55
SOG32	0,148	0,251	0,59	0,560	1,55
SOG33	1,220	0,251	4,87	0,000	1,55
SOG4	-0,490	0,251	-1,96	0,061	1,55
SOG7	-0,957	0,251	-3,82	0,001	1,55

2. Comparaciones en parejas de Tukey del promedio del área foliar.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Inóculo	N	Media	Agrupación
SOG33	5	4,208	A
TODAS	4	3,718	A B
SOG32	5	3,1367	A B C
CTRL	5	2,812	B C
SOG23	5	2,515	B C
SOG4	5	2,499	B C
SOG7	5	2,032	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

3. Test de Kruskall-Wallis para el peso seco radicular.

Inóculo	N	Median	Ave	Rank	Z
CTRL	5	12,80	11,5		-1,46
SOG23	5	15,60	22,2		1,14
SOG32	5	13,40	15,2		-0,56
SOG33	5	16,10	24,8		1,77
SOG4	5	13,60	17,2		-0,07
SOG7	5	12,70	6,1		-2,77
TODAS	4	18,15	27,5		2,14
Overall	34		17,5		

H = 16,47 DF = 6 P = 0,011
H = 16,48 DF = 6 P = 0,011 (adjusted for ties)

* NOTE * One or more small samples

Capítulo IV

4. Arroceros y productores de biofertilizantes

“Debemos valorarlas [a las bacterias] como individuos, tienen la capacidad de hacer más que muchos que hay ahí”.

(Don José, Comunicación personal, 20 de abril, 2019)

Como he planteado a lo largo de este trabajo de grado, en las últimas décadas los estudios en agricultura sustentable han planteado el uso de biofertilizantes como estrategia para mitigar los impactos ambientales que devienen del uso de fertilizantes inorgánicos producidos y usados a gran escala. En el capítulo anterior logramos establecer la forma en la que las plantas de arroz interactuaban con las bacterias endófitas que, desde el laboratorio de Fisiología Molecular Vegetal, habíamos postulado como candidatas a formar parte del biofertilizante. Pudimos, además, establecer la importancia que tienen en general dichos consorcios para mitigar los impactos ambientales, para generar transformaciones en las formas tradicionales de hacer agricultura, y para replantear la forma en la que concebimos las relaciones humanas y

no-humanas. A partir de esto, en este capítulo, surge el interés por comprender la forma en la que los humanos, específicamente quienes trabajan de la mano con cultivos de arroz, se aproximan a este tipo de bacterias en la agricultura a gran escala.

Al comienzo de mi trabajo de campo, y como parte de un diseño metodológico que involucraba aproximarme a otros seres humanos que también interactúan con bacterias, precedí a contactar y a entrevistar a dos gerentes de empresas productoras de fertilizantes biológicos. Mi objetivo era comprender cómo ellos se relacionaban con las bacterias a través de su actividad. Además, como ellos trabajan junto a agricultores, les pedí me contaran cómo identificaban la relación que se gestaba entre los arroceros y las bacterias. Teniendo esto en consideración, los hallazgos aquí consignados me permiten establecer que factores como la productividad, la ecología del arroz, la cosificación de las bacterias y los capitales económicos, educativos y ambientales de los arroceros, y de los productores de biofertilizantes trazan las relaciones que se entrelazan con las bacterias, y por ello son las principales limitantes en la apropiación de biofertilizantes como estrategia para mitigar los impactos ambientales y con ello para gestar formas diferentes de aproximarnos a la agricultura y al mundo en general.

Relación productiva con las bacterias

“¿A qué se refiere con que solo unos pueden sobrevivir?” le pregunté a Don José, un biólogo y micorrizólogo, gerente de una empresa que produce fertilizantes biológicos en Colombia. “En una comunidad microbiológica, en un sistema productivo, sea cual sea el cultivo, los que más deben prevalecer son los buenos, porque forman sustancias sinérgicas de administración de nutrientes, fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fósforo, entre otros” (Don

José, Comunicación personal, 20 de abril, 2019), dijo Don José al teléfono, justo antes de añadir “si no tienen especificidad en determinado bien para la planta, entonces, ¿para qué?”

Después de haber enviado múltiples correos a diversas empresas productoras de biofertilizantes, Don José había respondido de manera pronta y oportuna a mi comunicado, no sin antes informarse acerca de mi investigación y de mi estatus como estudiante dentro de la universidad. Eso le había dado la confianza a él y a otros empresarios que desarrollan biofertilizantes, a quienes contacté por medio de la base de datos de Empresas Registradas de Bioinsumos de diciembre del 2018 aportada por el ICA, para darme sus números telefónicos y llevar a cabo las entrevistas semi-estructuradas que había propuesto en mi diseño metodológico. Para ser sincero, mientras hablaba Don José no sabía muy bien hacia dónde quería ir o qué quería conseguir con el diálogo, pero sí tenía claro que era clave hablar con un pionero del trabajo con microbios que promueven el crecimiento de las plantas. En otras palabras, tenía claro que para poder saber cuál era la relación que se tejía alrededor de los biofertilizantes era imperativo no solo saber quiénes hablaban con/por las bacterias dentro del contexto de los biofertilizantes, sino que requería indagar qué decían de ellas y cómo debía de interpretarse ello. Así pues, simplemente dejé que la conversación fluyera y me fui sumergiendo en ella, preguntando todo aquello que sentía podía ser provechoso.

Tocamos diversos temas que iban desde su idea de que debían prevalecer los “buenos,” lo que él concebía como el suelo, hasta lo que él consideraba eran barreras estatales que impedían una adecuada inmersión de los fertilizantes biológicos dentro del contexto colombiano. Don José hilvanaba su relato con historias personales y con descubrimientos de sus investigaciones. Sus palabras eran enérgicas. Revitalizadoras, me atrevería a decir. La seguridad, la tranquilidad y, a

la vez, la pasión con la que daba respuesta a mis preguntas, lograban transmitirme una esperanza que me conducía a pensar que era posible resarcir los daños ecológicos que hemos generado los seres humanos, pero, ¿por qué?

Desde que las bacterias suplantaron a los espíritus o a la hechicería de otros tiempos y sociedades, la relación que hemos mantenido ha estado trazada por la morbilidad y la mortalidad resultado del contacto entre ambos. Desde que la ciencia las aisló y rotulo como “contaminadas,” hemos tendido a evitarlas a toda costa (Curtis, 2007; Roberts et al., 2003). Así pues, aunque no podamos verlas a simple vista aprendemos a través de libros texto y cartillas de salud pública a concebirlas a ellas y a otros microbios desde connotaciones negativas. Esto es algo que se ve exacerbado en el contexto mundial por el que atravesamos actualmente con el coronavirus. No obstante, tal como lo sugiere Don José, habría bacterias “buenas” y bacterias “malas”. Esta afirmación manifiesta un cambio respecto a la forma en la que usualmente los humanos tendemos a concebirlas, pues aunque mantiene una visión dicotómica y moral de las mismas, a su vez empieza al menos a permitir un espacio más allá de su carácter negativo o contaminante. En el mundo de Don José, las bacterias no son solo causantes de enfermedades, ni debemos desplegar una “guerra” contra ellas a través de la higiene o los desinfectantes, “debemos valorarlas [a las bacterias] como individuos, tienen la capacidad de hacer más que muchos que hay ahí” (Don José, Comunicación personal, 20 de abril, 2019).

Esta visión de Don José es muy similar a la de Don Víctor, gerente de otra empresa productora de biofertilizantes en Colombia. En la entrevista telefónica Don Víctor fue atento y gentil, aunque cauteloso al momento de responder algunas preguntas a mayor profundidad, como cuando le pedí platicar acerca del mercado de fertilizantes biológicos en la industria arrocera. Al

momento de hablar de los beneficios de usar bacterias como fertilizantes, me mencionó que “los inoculantes [bacterias u hongos] le ayudan en el cuidado de la raíz, el aporte de nutrientes a la planta, la composición del suelo, el medio ambiente y en el manejo de patógenos. [Pueden] desplazar patógenos al aumentar la proporción de microorganismos positivos” (Don Víctor, Comunicación personal, 6 de abril, 2019). Estas afirmaciones permiten sugerir que la forma en la que Don Víctor concibe a las bacterias es similar a la de Don José.

¿Qué tiene de particular el universo de Don José y de Don Víctor que les permite concebir las bacterias incluso como positivas? Al fijarse en su discurso, uno puede ver un elemento importante que brinda la clave para su entendimiento, lo que se puede palpar cuando Don José afirma que “si [las bacterias] no tienen especificidad en determinado bien para la planta, entonces para qué” (Don José, Comunicación personal, 20 de abril, 2019). Los criterios por medio de los cuales Don José determina el ethos de los microbios permanece asociado a las ideas de salud, pero existe un desplazamiento sobre el objeto de referencia que emplea al momento de realizar su evaluación. Mientras que históricamente los humanos tendemos a determinar dicho ethos bacteriano a través de nuestra propia experiencia con las bacterias, Don José realiza su juicio a partir de lo que observa en la relación que se entrelaza entre estos microbios y las plantas. Así pues, las bacterias, a partir de la interacción con las plantas de arroz pueden ser “buenas”, si promueven el crecimiento de éstas, o “malas”, cuando producen un efecto indeseado sobre el rendimiento de los cultivos.

A pesar de lo presentado con anterioridad, los productores de biofertilizantes no dejan por completo de lado la experiencia humano-bacteria en el proceso de construcción de las bacterias dentro de sus mundos. De hecho, ésta también ocupa un lugar importante por medio de la

relación que se entrelaza entre las bacterias y las plantas, y después entre dichas plantas y las bacterias.

Al hablar con Don Víctor, éste añadió información que permitió complejizar aún más este contexto problemático respecto a la importancia que pueden tener las bacterias. Para él, “los agricultores necesitan un tema de utilidad más o menos estable para pensar en la introducción de este tipo de inoculantes”, ante lo cual agregó que “los arroceros producen a toda carrera. Las ventanas de siembra son pequeñas” (Don Víctor, Comunicación personal, 6 de abril, 2019). ¿Qué quiere decir esto? En otras palabras, plantea que para que los arroceros puedan tener si quiera dentro de sus radares los biofertilizantes, es necesario que su uso logre satisfacer sus propios estándares de producción. Con ello, las bacterias que puedan acompañarnos dentro de estos contextos de producción de altos rendimientos, no solo deben promover el crecimiento de la planta, sino que debe hacerlo en una medida comparable a la que se obtiene respecto al uso de los fertilizantes inorgánicos. Esto permite postular formalmente que la productividad que pueda obtenerse del uso de los biofertilizantes juega un papel importante en la apropiación de este tipo de tecnologías, al menos para los empresarios como Don José y Don Víctor.

Ecología del arroz

Como bien se puede sugerir, la “utilidad” a la cual Don Víctor se refiere está anclada a la productividad que se espera por parte de las plantas de arroz, pero, ¿por qué se dice que hay poco tiempo para obtenerla? La inmediatez con la que se espera conseguir la utilidad está determinada por los ciclos de vida de la misma planta de arroz, pues, como plantea Don Víctor, “el arroz es un cultivo rápido, de ciclos cortos” (Don Víctor, Comunicación personal, 6 de abril, 2019). El

ciclo de vida de las plantas de arroz, en su tránsito por los estadios vegetativos, reproductivos y maduros. Es decir, desde la germinación de la semilla hasta la cosecha de los granos, tarda alrededor de 140 días, unos 4 meses (Kraehmer et al., 2017). A partir de estas ideas es que Don Víctor plantea que “pensar en arroz no es lo mismo a pensar, por ejemplo, en árboles frutales”, ya que “no es lo mismo un cultivo de años a pensar en uno de unos pocos meses” (Don Víctor, Comunicación personal, 6 de abril, 2019). Esta situación conlleva a una aseveración, y es que “los agricultores de arroz son los que menos sensibilidad tienen [...] No le paran muchas bolas a esto, no consideran productos de tipo biológico” (Don Víctor, Comunicación personal, 4 de abril, 2019).

A partir de lo anterior, tal como lo plantea Don Víctor, “[...] El ciclo del cultivo determina la percepción [sobre las bacterias] del agricultor” (Don Víctor, Comunicación personal, 6 de abril, 2019). En este caso, dado a que el arroz es un cultivo de vida corta, el contexto de producción en el que se inscribe este cultivo conduce a que los arroceros vivan en una suerte de afán y a que no les den espacio a las bacterias dentro de sus imaginarios, al menos en la agricultura industrial.

Cosificación de las bacterias

A partir del testimonio de Don Víctor, lo que él ha observado en las prácticas de los arroceros es que muchos de ellos se relacionan con las bacterias a través de una serie de prácticas que él considera no son idóneas para ellas. Según él, los arroceros “emplean las mismas metodologías que para los agroquímicos. No siguen los pasos como son: desinfectar e inocular. No, solo inoculan” (Don Víctor, Comunicación personal, 6 de abril, 2019). Lo anterior permite

ver que para algunos arroceros las bacterias dejan de ser seres vivos y se convierten en una suerte de objetos, por lo que se les da el mismo tipo de uso que a los compuestos químicos producido de manera artificial dentro de un laboratorio.

El inconveniente de no reconocer el carácter de ser vivo de las bacterias, y lo que ello implica, conduce a que los arroceros no logren apreciar cambios significativos respecto al rendimiento que puede llegar a generar las planterias, no porque los microbios no sean capaces de gestar una relación con las plantas que resulte en su crecimiento mutuo, sino porque las prácticas agricultoras en las que son inscritas conducen a su inactivación en los suelos. Las bacterias, como los demás seres vivos, requieren de condiciones óptimas para que tenga a lugar su adecuado desarrollo, por lo que el uso de agrotóxicos que se emplean en la producción de arroz resultan contraproducentes (Kaushik, Kumar, & Shamim, 2020). Así pues, podemos plantear que las bacterias no pueden ser tratadas como un compuesto químico más, ya que son sensibles a su entorno.

Con ello, identificar a las bacterias como seres vivos, tal como se reconoce desde la microbiología, implica, a su vez, que se gesten transformaciones en las formas en las que los humanos nos relacionamos con ellas. Esto resulta importante, pues nos permite aproximarnos cada vez más a escenarios de relación horizontal entre humanos y no-humanos. De este modo, podemos resaltar el carácter de interconectividad que se presenta en los biofertilizantes, pues para que pueda apropiarse dicha tecnología también es necesario un trabajo de compromiso por parte de los humanos, no solo de los no-humanos.

En este contexto, es importante resaltar, tal como también lo señala Don José, que “ya hay varios casos [de arroceros] donde manejan bacterias y hongos, sobretodo en el Tolima. Los agricultores son conscientes de ese cambio que ya empezaron”, para terminar augurando, según su perspectiva, que “tienen un futuro muy promisorio” (Don José, Comunicación personal, 20 de abril, 2019). Aproximarnos más a estos arroceros podría aportarnos información valiosa acerca de las transformaciones que han atravesado ellos frente a sus relaciones con los cultivos, con las bacterias, con la forma de hacer agricultura y con los no-humanos en general, a partir de la apropiación del uso de los biofertilizantes. Esto nos ayudaría a comprender cómo se viven estos nuevos mundos de relaciones en apariencia más horizontales entre humanos y no-humanos.

Economía, ecología y educación

Por otra parte, algo interesante que permite elucubrar los discursos de Don Víctor y Don José, es que relacionan a las bacterias con un estatus económico, ecológico y educacional. Es importante ahondar en esta idea, pues rompen con los esquemas tradicionales por medio de los cuales se imaginan a las bacterias asociadas a la pobreza, las condiciones ambientales precarias y la falta de conocimiento (Heijnders, 2004; Oxlade & Murray, 2012). Esto se puede evidenciar en palabras de Don José (Comunicación personal, 20 de abril, 2019), cuando plantea que:

Este tipo de biotecnología [de los biofertilizantes] desdichadamente ha llegado a los agricultores únicamente con poder de adquisición. Si tienen alto poder de adquisición se dan cuenta que inoculando con bacterias y hongos desde iniciado el cultivo pueden bajar dosis de fertilización, como prevención de enfermedades. El que no tiene el capital económico es más cegado por la producción que tienen de

una, ellos no piensan, por su capacidad económica. Como están relegados en el campo, allá no llega la tecnología, y tienen que producir con lo que tengan a la mano sin pensar en lo ambiental [...] la gran inquietud es que el manejo técnico del uso de bioinóculos se ha visto en productividad, la relación costo/beneficio. El retorno de la inversión del capital debe verse reflejado en la productividad a penas arranca el cultivo, [pero] si se piensa en tasa de retorno [a largo plazo] es bastante significativo.

A partir de estas ideas que expone Don José, se logra apreciar que para pensar en bacterias se requiere de capital económico y de conocimiento biológico y agrícola más especializado.

Anclado a estas ideas expuestas, podemos volver a traer a colación el momento en el que Don Víctor sugiere que el uso tradicional de “muchos herbicidas y pesticidas [...] Puede inactivar a los microorganismos” (Don Víctor, Comunicación personal, 6 de abril, 2019). Esto sugiere, entonces, que para poder tener bacterias también se necesita de condiciones ambientales óptimas que permitan su florecimiento. Es así como, bajo tales concepciones acerca de las bacterias, se presentan un giro en la forma tradicional de imaginar a las bacterias en su relación con los humanos. El resultado de ello se expresa por medio de la generación de nuevas relaciones donde se sitúa a las bacterias en una posición más horizontal.

No obstante, los discursos de Don José y de Don Víctor permiten entrever otra situación merecedora de analizar, y es que parece existir una tendencia clara entre los arroceros permitirse usar biofertilizantes, y los que no. Dicha diferencia, pues, parece estar trazada por el gozar de

posiciones económicas, ecológicas y educativas privilegiadas. De este modo, las bacterias en la agricultura permiten ilustrar, a su vez, grietas en la política agraria del país.

Conclusiones

A partir de lo expuesto a lo largo del texto, se puede apreciar que los arroceros y los productores de inóculos determinan parte de su relación con las bacterias a través de las ideas de productividad; si bien los segundos adjudican características positivas a las bacterias lo hacen solo en función de la rentabilidad económica de los agricultores. En otras palabras, no hay lugar para las bacterias dentro de sus imaginarios si no “tienen especificidad en determinado bien para la planta”. Del mismo modo, se encontró que el ciclo vital de la especie de planta determina en gran medida la forma en la que los agricultores imaginan (si llegan a hacerlo) a las bacterias dentro de sus mundos, por lo que los ciclos de vida corta del arroz se presentan como un limitante en la contemplación del uso de biofertilizantes. Otro hallazgo importante es que la forma en la que se concibe a estas bacterias dentro de estos contextos, contrario a lo que se tendería a pensar, se asocian a ideas de privilegio económico, ecológico y educativo. Esto, además de determinar en parte la forma de relación con las bacterias, a su vez permite ver grietas en la política agraria del país.

El no concebir a las bacterias como seres vivos conduce a la ausencia de prácticas que generen un ambiente adecuado para que las bacterias lleven a cabo sus ciclos metabólicos de forma óptima, y con ello a que no se observen los resultados esperados en el crecimiento de las plantas, lo que deviene en la falta de apropiación de los biofertilizantes por los arroceros. Con esto, se recomienda tener en cuenta estas formas en las que los arroceros conciben y se relacionan con las plantas de arroz y con las bacterias en sus mundos, lo cual expresan a través

de sus prácticas, pues de ello también va a depender el éxito de los desarrollos tecnocientíficos que se plantean. Esto permite resaltar que el uso de biofertilizantes es un proceso cooperativo entre humanos y no-humanos, y como tal exige un verdadero compromiso de todas las partes implicadas.

Referencias

Curtis, V. (2007). Dirt, disgust and disease: a natural history of hygiene. *Journal of Epidemiology and Community Health*, (61), 660–664.

<https://doi.org/10.1136/jech.2007.062380>

Heijnders, M. L. (2004). *The Dynamics of Stigma in Leprosy*. *International Journal of Leprosy* (Vol. 72).

Kaushik, B., Kumar, D., & Shamim, M. (Eds.). (2020). *Biofertilizers and Biopesticides in Sustainable Agriculture*. Apple Academic Press. Retrieved from https://books.google.com.co/books?id=jAW5DwAAQBAJ&pg=PA355&lpg=PA355&dq=factor+that+inactivates+biofertilizers&source=bl&ots=bdGVUm_oQZ&sig=ACfU3U1SgrfA7fbAlatAxS6DGhastcZ5Og&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjdjKqizqvnAhUxw1kKHUz_CfAQ6AEwCXoECAoQAQ#v=onepage&q=f

Kraehmer, H., Thomas, C., & Vidotto, F. (2017). *Rice Production Worldwide*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47516-5_4

Krzywoszynska, A. (2019). Caring for soil life in the Anthropocene : The role of attentiveness in more - than - human ethics, (April), 661–675. <https://doi.org/10.1111/tran.12293>

Oxlade, O., & Murray, M. (2012). Tuberculosis and Poverty: Why Are the Poor at Greater Risk in India? *PLoS ONE*, 7(11), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047533>

Roberts, R. R., Scott, R. D., Cordell, R., Solomon, S. L., Steele, L., Kampe, L. M., ... Weinstein, R. A. (2003). The Use of Economic Modeling to Determine the Hospital Costs Associated with Nosocomial Infections. *Clinical Infectious Diseases*, 36(11), 1424–1432.

<https://doi.org/10.1086/375061>