

# UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO



Campus Celaya-Salvatierra

División de ciencias de la salud e ingenierías

“Análisis de la interacción hongo endófito-bacteria promotora del crecimiento vegetal para promover el crecimiento de material vegetal”

Tesis que

para obtener el grado de ingeniera en biotecnología

Presenta

Teresita de Jesus Quiroz Segoviano

Dirigido por

Dra. Blanca Estela Gómez Luna

Dr. Adán Topiltzin Vargas

Celaya, Guanajuato.

Julio 2021.



# UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO



Campus Celaya-Salvatierra

División de ciencias de la salud e ingenierías

“Análisis de la interacción hongo endófito-bacteria promotora del crecimiento vegetal para promover el crecimiento de material vegetal”

Tesis que

para obtener el grado de ingeniero en biotecnología

Presenta

Teresita de Jesus Quiroz Segoviano

Dirigido por

Dra. Blanca Estela Gómez Luna

Dr. Adán Topiltzin Vargas

Celaya, Guanajuato.

Julio 2021.



Campus Celaya-Salvatierra

División de Ciencias de la  
Salud e Ingenierías  
Ingeniería en  
Biotecnología

Celaya, Gto., 18 de Septiembre del 2019

Oficio No. xxxx/DIR/DCSI/CCS

Asunto: Cumplimiento de requisitos académicos-administrativos

**NOMBRE**

**COORDINADOR(A) DE ASUNTOS ESCOLARES**

**CAMPUS CELAYA-SALVATIERRA**

**UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO**

**P R E S E N T E.**

Por este medio hago de su conocimiento que la alumna Teresita de Jesus Quiroz Segoviano; ha cumplido cabalmente con los requisitos **Académicos-Administrativos** para la titulación por la Modalidad de tesis, los cuales se enlistan a continuación:

1. Haber concluido el 100% de los créditos del programa académico, comprobado con una copia del certificado total de estudios.
2. Toefl de 400 puntos, comprobado con el certificado oficial (o la constancia de su equivalente en otro sistema de evaluación del idioma inglés.)
3. Conclusión de su trabajo de titulación.

Por lo anterior se le autoriza que presente el trabajo titulado: " Análisis de la interacción hongo endófito-bacteria promotora del crecimiento vegetal ". a fin de obtener el grado de licenciado, el día \_\_ de \_\_\_\_\_ del 20\_\_, a las 16:00 p.m., en la Sala "C" de este Campus, ante el siguiente jurado:

**Grado y Nombre (Presidente)**

**Grado y Nombre (Secretaria)**

**Grado y Nombre (Sinodal)**

Se extiende la presente en la ciudad de Celaya, Gto., a los 16 días del mes de octubre del 2019; dos mil \_\_\_\_\_.

**ATENTAMENTE**

**"LA VERDAD OS HARÀ LIBRES"**

---

**Grado y Nombre**

**DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA SALUD E INGENIERÍAS**



## **DEDICATORIA**

A todos aquellos que creyeron en mí, a mis padres, amigos y a aquellas personas que formaron parte de mi vida universitaria.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la universidad de Guanajuato por brindarme una beca, al doctor Adán Topiltzin Vargas y la doctora Blanca Estela Gómez Luna por darme la oportunidad de llevar a cabo este proyecto y por guiarme en el proceso.

**“ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN HONGO ENDÓFITO-BACTERIA  
PROMOTORA DEL CRECIMIENTO VEGETAL PARA PROMOVER EL  
CRECIMIENTO DE MATERIAL VEGETAL”**

Por: Teresita de Jesus Quiroz Segoviano

Dirigido por: Blanca Estela Gómez Luna/Adán Topiltzin Morales Vargas

**RESUMEN**

Desde el comienzo de la agricultura, el hombre se preocupó por controlar y erradicar el crecimiento indeseado de ciertos organismos y microorganismos que interferían con el crecimiento adecuado de los cultivos, para esto, utilizaron ciertas sustancias químicas que se encargaban de controlar el crecimiento de estas plagas. Otro de los productos químicos que el agricultor ha utilizado, han sido aquellos que tienen la función de mejorar el crecimiento de las plantas de interés. Durante muchos años se aprovecharon los beneficios evidentes que tenía el utilizar dichos agroquímicos y se usaron sin restricción, causando daños irreversibles. Actualmente, se sabe que la gran mayoría de agroquímicos usados causan daño a la salud de quien los maneja, al igual que causan deterioro en la tierra y contaminan mantos acuíferos. Por ello, es importante crear nuevas alternativas que reduzcan el uso de agroquímicos y que cumplan con las mismas funciones. El objetivo de este trabajo fue realizar la interacción entre organismos benéficos como hongos endófitos y bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB), con el fin de observar interacciones positivas de tipo mutualista, para en futuras investigaciones probar los consorcios benéficos en material vegetal. Se usaron cepas de bacterias y hongos de la colección del doctor Adán Topiltzin Vargas y de la doctora Blanca Estela Gómez Luna, profesores de tiempo completo de la universidad de Guanajuato, campus Celaya-Salvatierra. Se realizaron alrededor de 950 interacciones y de éstas, 402 resultaron tener una respuesta positiva.

**"ANALYSIS OF THE INTERACTION ENDOPHYTE FUNGUS-BACTERIAL  
PLANT GROWTH PROMOTER TO PROMOTE THE GROWTH OF PLANT  
MATERIAL"**

By: Teresita de Jesus Quiroz Segoviano

Directed: Blanca Estela Gomez Luna/Adán Topiltzin Morales Vargas

**ABSTRAC**

Since the beginning of agriculture, man was concerned with controlling and eradicating the unwanted growth of certain organisms and microorganisms that interfered with the proper growth of crops, for this, they used certain chemicals that were responsible for controlling the growth of these pests . Another of the chemical products that the farmer used have been those that have the function of improving the growth of plants of interest. For many years the obvious benefits of using these agrochemicals were exploited and used without restriction, causing irreversible damage. Currently, it is known that the vast majority of used agrochemicals cause damage to the health of those who handle them, as well as cause deterioration in the land and contaminate aquifers. For this reason, it is important to create new alternatives that reduce the use of agrochemicals and that fulfill the same functions. The objective of this work was to carry out the interaction between beneficial organisms such as endophytic fungi and plant growth promoting bacteria (PGPB), in order to observe positive mutualistic interactions, in order to test beneficial consortia in plant material in future research. Strains of bacteria and fungi from the collection of Dr. Adán Topiltzn Vargas and Dr. Blanca Estela Gómez Luna, full-time professors at the University of Guanajuato, Celaya-Salvatierra campus, were used. Around 950 interactions were made and of these, 402 were found to have a mutualistic (positive) response.

# ÍNDICE

**Pág.**

ÍNDICE.....	III
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
<b>1 CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Justificación .....	2
1.2 Objetivos .....	3
1.2.1 Objetivo general .....	3
1.2.2 Objetivo específico.....	3
1.3 Hipótesis .....	3
<b>2 CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES.....</b>	<b>4</b>
2.1.1 Rizósfera y suelo .....	4
2.2 Hongos endófitos .....	5
2.3 Bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR).....	8
2.4 Mecanismos benéficos proporcionadas por las PGPB y hongos endófitos.....	10
2.4.1 Señalización .....	10
2.5 Mecanismos directos de las PGPR.....	11
2.5.1 Antibióticos .....	11
2.5.2 Enzimas degradadoras de la pared celular .....	11

2.5.3	Producción de hidrógeno .....	11
2.5.4	Resistencia sistémica inducida (ISR) .....	11
2.5.5	Producción de ácido salicílico (SA) .....	12
2.5.6	Quorum sensing.....	12
2.5.7	Competencia .....	13
2.5.8	Síntesis de compuestos orgánicos volátiles .....	13
2.5.9	Síntesis de sideróforos .....	14
2.5.10	Fitohormonas .....	14
2.6	Principales funciones de las fitohormonas .....	15
2.6.1	Auxinas.....	15
2.6.2	Giberelinas .....	16
2.6.3	Ácido Abscísico.....	17
2.6.4	Etileno.....	17
2.6.5	Citoquininas.....	18
2.6.6	Ácido jasmónico.....	18
2.7	Factores Nod y Myc.....	19
2.8	Fijación de nitrógeno atmosférico.....	19
2.9	Solubilización de fosforo .....	20
2.10	Expolisacaridos (EPS).....	21
2.11	Interacciones hongo-bacteria .....	21
2.12	Clasificación de interacciones.....	22
2.12.1	Comensalismo.....	22
2.12.2	Protocooperación .....	22
2.12.3	Simbiosis o mutualismo .....	22
2.12.4	Amensalismo o antagonismo .....	23
2.12.5	Depredación.....	23
2.12.6	Parasitismo .....	24

2.13	Interacciones asociadas a la planta .....	24
2.14	Aplicación de consorcios y sus ventajas.....	24
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA .....</b>	<b>27</b>
3.1	Obtención de las cepas de bacterias y hongos.....	27
3.2	Siembra y condiciones de las interacciones.....	27
3.3	Toma de imagen .....	28
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO 4 RESULTADOS.....</b>	<b>30</b>
4.1	Aspergillus .....	30
4.1.1	Aspergillus H-124.....	30
4.1.2	Aspergillus H-120.....	37
4.1.3	Aspergillus H-112.....	43
4.1.4	Aspergillus H-117.....	48
4.1.5	Aspergillus H-114.....	51
4.2	Fusarium .....	56
4.2.1	Fusarium H-3.....	56
4.2.2	Fusarium H-5.....	59
4.2.3	Fusarium H-33.....	63
4.2.4	Fusarium H-111.....	65
4.2.5	Fusarium H-H9.....	68
4.2.6	Fusarium H-Mov2.....	71
4.2.7	Fusarium H-15.....	75
4.2.8	Fusarium H-12.....	77
4.2.9	Fusarium H-26.....	78
4.3	Penicillium.....	80
4.3.1	Penicillium H-V816 .....	80
4.3.2	Penicillium H-2.....	82

<b>4.4</b>	<b>Sin identificar.....</b>	<b>84</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Sin identificar H-104 .....</b>	<b>84</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Sin identificar H-103 .....</b>	<b>87</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Sin identificar H-125 .....</b>	<b>88</b>
<b>4.4.4</b>	<b>Sin identificar H-01 .....</b>	<b>91</b>
<b>4.4.5</b>	<b>Sin identificar H-105 .....</b>	<b>93</b>
<b>4.4.6</b>	<b>Sin identificar H-113 .....</b>	<b>96</b>
<b>4.5</b>	<b>Tablas de interacciones .....</b>	<b>102</b>
<b>6</b>	<b>CAPITULO 5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>106</b>
<b>7</b>	<b>CAPITULO 6 CONCLUSIONES.....</b>	<b>108</b>
<b>8</b>	<b>CAPITULO 7 BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>109</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
FIGURA 2.1 TÉCNICA DE INTERACCIONES HONGO-BACTERIA. ....	22
FIGURA 3.1 EJEMPLO DE LA INTERACCIÓN ENTRE 1 HONGO- 4 BACTERIAS .....	28
FIGURA 4.1 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 266, 111, 317 Y 265 CON EL HONGO H-124. ....	31
FIGURA 4.2 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 305, 275, 319 Y 256 CON EL HONGO H-124. ....	32
FIGURA 4.3 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 313(-), 264(-), 113(-) Y 109(-) Y 253(-), 208(-), 222(-) Y 263(-) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-124. ....	33
FIGURA 4.4 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 225 (+) Y 304 (-) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-124.....	33
FIGURA 4.5 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 106(+), 264.1(-), 301(-) Y 314(+) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-124 .....	34
FIGURA 4.6 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 205(-), 258(-), 313(+) Y 265 A (-) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-124. ....	34
FIGURA 4.7 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 210(-), 214(-), 308(-) Y 208(-) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-124. ....	35
FIGURA 4.8 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 221(+), 318(+), 207(+) Y 202 (+) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-124. ....	35
FIGURA 4.9 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 302(-), 203(-), 123(+) Y 265B2(-) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-124. ....	36
FIGURA 4.10 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 112(-), 306(-), 225(-) Y 117(-) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-124. ....	36
FIGURA 4.11 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 103(-), 213(-), 116(-) Y 119(-) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-124. ....	37
FIGURA 4.12 CONTROL DE HONGO H-120 E INTERACCIÓN DE CEPAS 256 Y 275 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-120. ....	38
FIGURA 4.13 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 317, 113, 253 Y 305 CON EL HONGO <i>ASPERGILLUS</i> H-120. ....	39
FIGURA 4.14 INTERACCIÓN DE LAS BACTERIAS 109, 208, 263 Y 319 CON EL HONGO <i>ASPERGILLUS</i> H-120. ....	39
FIGURA 4.15 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 225, 313, 222 Y 266 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-120.....	40
FIGURA 4.16 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 221, 207, 203 Y 106 CON EL HONGO <i>ASPERGILLUS</i> H-120. ....	40
FIGURA 4.17. INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 314, 123, 264.1 Y 306 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-120. ....	41
FIGURA 4.18 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 308, 301, 265 B Y 112 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-120. ....	42
FIGURA 4.19 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 103, 116, 102 Y 270 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-120.....	42
FIGURA 4.20. INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 318, 206, 223 Y 202 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-120.....	43
FIGURA 4.21. CONTROL DE HONGO H-112 E INTERACCIÓN DE CEPAS 264(-), 253(-), 305(+) Y 317(-) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-112. ....	44
FIGURA 4.22 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 222 Y 313 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-112. ....	44
FIGURA 4.23 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 266, 225, 265 Y 319 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-112.....	45
FIGURA 4.24 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 263, 113, 111 Y 256 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-112.....	45
FIGURA 4.25 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 258, 264.1, 314 Y 205 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-112.....	46
FIGURA 4.26 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 318, 265 A, 221 Y 313 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-112. ....	46
FIGURA 4.27 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 202, 207, 265 B2 Y 203 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-112. ....	47
FIGURA 4.28 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 302, 265 B, 123 Y 102 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-112. ....	47
FIGURA 4.29 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 206, 116, 270 Y 119 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-112.....	48
FIGURA 4.30. INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 103, 213, 223 Y 114 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-112.....	48
FIGURA 4.31 CONTROL DE HONGO H-117.....	49
FIGURA 4.32 INTERACCIÓN DE CEPAS 113, 225, 305 Y 208 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-117.....	49

FIGURA 4.33 INTERACCIÓN DE CEPAS 275, 313, 253 Y 222 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-117.....	50
FIGURA 4.34 INTERACCIÓN DE CEPAS 266, 317, 109 Y 319 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-117.....	50
FIGURA 4.35 INTERACCIÓN DE CEPAS 256, 265, 304 Y 263 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-117.....	51
FIGURA 4.36 INTERACCIÓN DE CEPAS 204 Y 111 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-117.....	51
FIGURA 4.37 INTERACCIÓN DE CEPAS 113, 225, 305 Y 208 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-114.....	52
FIGURA 4.38 INTERACCIÓN DE CEPAS 103, 318, 114 Y 313 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-114.....	52
FIGURA 4.39 INTERACCIÓN DE CEPAS 112, 265 B2, 214 Y 207 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-114.....	53
FIGURA 4.40 INTERACCIÓN DE CEPAS 208, 205, 221 Y 314 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-114.....	53
FIGURA 4.41 INTERACCIÓN DE CEPAS 206, 202, 203 Y 301 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-114.....	54
FIGURA 4.42 INTERACCIÓN DE CEPAS 117, 210, 119 Y 306 CON EL HONGO ASPERGILLUS H-114.....	54
FIGURA 4.43 INTERACCIÓN DE CEPAS 264 (-), 253 (+), 305 (-) Y 317(-) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-114. .	55
FIGURA 4.44 INTERACCIÓN DE CEPAS 222 (+) Y 313(-) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-114. ....	55
FIGURA 4.45 INTERACCIÓN DE CEPAS 263 (+), 113 (+), 111(-) Y 256(+) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-114. ....	56
FIGURA 4.46 CONTROL DEL HONGO FUSARIUM H-3.....	56
FIGURA 4.47 INTERACCIÓN DE CEPAS 275 (-) Y 305 (-) CON EL HONGO FUSARIUM H-3. ....	57
FIGURA 4.48 INTERACCIÓN DE CEPAS 109 (-), 313 (-), 222(+) Y 253(-) CON EL HONGO FUSARIUM H-3. ....	57
FIGURA 4.49 INTERACCIÓN DE CEPAS 258 (-), 265 A (-), 112 (+) Y 207 (+) CON EL HONGO FUSARIUM H-3. ....	58
FIGURA 4.50 INTERACCIÓN DE CEPAS 208 (-), 314 (+), 213 (+) Y 265 B (+) CON EL HONGO FUSARIUM H-3. ....	58
FIGURA 4.51 INTERACCIÓN DE CEPAS 265 B2 (-), 116 (-), 214 (+) Y 102 (+) CON EL HONGO FUSARIUM H-3. ...	59
FIGURA 4.52 INTERACCIÓN DE CEPAS 123 (+) Y 264.1 (-) CON EL HONGO FUSARIUM H-3. ....	59
FIGURA 4.53 CONTROL DE FUSARIUM H-5 E INTERACCIÓN DE CEPAS 275 (-), 256 (-), 317 (-) Y 113 (+) CON EL HONGO FUSARIUM H-5. ....	60
FIGURA 4.54 INTERACCIÓN DE CEPAS 265 (+), 304 (-), 111 (-) Y 264 (-) CON EL HONGO FUSARIUM H-5. ....	61
FIGURA 4.55 INTERACCIÓN DE CEPAS 225 (+), 263 (-), 319 (-) Y 313 (+) CON EL HONGO FUSARIUM H-5.....	61
FIGURA 4.56 INTERACCIÓN DE CEPAS 222 (+) Y 266 (-) CON EL HONGO FUSARIUM H-5. ....	62
FIGURA 4.57 INTERACCIÓN DE CEPAS 213 (-), 225 (-), 265 (+) Y 106 (+) CON EL HONGO FUSARIUM H-5.....	62
FIGURA 4.58 INTERACCIÓN DE CEPAS 109 (+), 253 (+), 305 (+) Y 208 (-) CON EL HONGO FUSARIUM H-33.....	63
FIGURA 4.59 INTERACCIÓN DE CEPAS 265 (+), 223 (-), 319 (+) Y 113 (-) CON EL HONGO FUSARIUM H-33.....	63
FIGURA 4.60 INTERACCIÓN DE CEPAS 317 (+), 225 (+), 258 (+) Y 264 (+) CON EL HONGO FUSARIUM H-33.....	64
FIGURA 4.61 INTERACCIÓN DE CEPAS 256 (+), 266 (-), 263 (-) Y 111 (+) CON EL HONGO FUSARIUM H-33.....	64
FIGURA 4.62 INTERACCIÓN DE CEPAS 275 (+), 304 (+), 313 (+) Y 113 (-) CON EL HONGO FUSARIUM H-3.....	65
FIGURA 4.63 <i>FUSARIUM H-111</i> .....	65
FIGURA 4.64 INTERACCIÓN DE CEPAS 313 (+) Y 222(+) CON EL HONGO FUSARIUM H-111. ....	66
FIGURA 4.65 INTERACCIÓN DE CEPAS 203 (+) Y 221 (+), 258 (+) Y 208 (+) CON EL HONGO FUSARIUM H-111..	66
FIGURA 4.66 INTERACCIÓN DE CEPAS 123 (+) Y 270 (+), 223 (+) Y 265 A (+) CON EL HONGO FUSARIUM H-111 .....	67
FIGURA 4.67 INTERACCIÓN DE CEPAS 112 (+), 207 (-), 106 (+) Y 119 (+) CON EL HONGO FUSARIUM H-111.....	67
FIGURA 4.68 INTERACCIÓN DE CEPAS 265 B2 (-), 210 (+), 116 (-) Y 264.1 (+) CON EL HONGO FUSARIUM H-111. ....	68
FIGURA 4.69 CONTROL FUSARIUM H-H9 .....	68
FIGURA 4.70 INTERACCIÓN DE CEPAS 264 (+), 253 (-), 207 (+) Y 317 (-) CON EL HONGO FUSARIUM H-H9.....	69
FIGURA 4.71 INTERACCIÓN DE CEPAS 275 (-) Y 263 (-) CON EL HONGO FUSARIUM H-H9.. ....	69
FIGURA 4.72 INTERACCIÓN DE CEPAS 319(-), 225(-), 265(-) Y 266(-) CON EL HONGO FUSARIUM H-H9.....	70
FIGURA 4.73 INTERACCIÓN DE CEPAS 206(-), 207(+), 270(-) Y 225(-) CON EL HONGO FUSARIUM H-H9.....	70
FIGURA 4.74 INTERACCIÓN DE CEPAS 313(+), 103(-), 205(-) Y 210(+) CON EL HONGO FUSARIUM H-H9.....	71
FIGURA 4.75 CONTROL DEL HONGO FUSARIUM H-MOV2.....	71
FIGURA 4.76 INTERACCIÓN DE CEPAS 313(-), 275(-), 253(-) Y 222(+) CON EL HONGO FUSARIUM H-MOV2. ...	72
FIGURA 4.77 INTERACCIÓN DE CEPAS 305(-) Y 317(-) CON EL HONGO FUSARIUM H-MOV2.....	72
FIGURA 4.78 INTERACCIÓN DE CEPAS 111 (+), 304(-), 264(-) Y 265 (-) CON EL HONGO FUSARIUM H-MOV2... ..	73
FIGURA 4.79 INTERACCIÓN DE CEPAS 113(-), 319(-), 265(-) Y 225(+) CON EL HONGO FUSARIUM H-MOV2. ...	73
FIGURA 4.80 INTERACCIÓN DE CEPAS 301(+), 318(+), 225(+) Y 112(-) CON EL HONGO FUSARIUM H-MOV2....	74
FIGURA 4.81 INTERACCIÓN DE CEPAS 114(+), 116(-), 202(+) Y 203(+) CON EL HONGO FUSARIUM H-MOV2... ..	74

FIGURA 4.82 INTERACCIÓN DE CEPAS 103(+), 102(+), 106(+) Y 258(+) CON EL HONGO FUSARIUM H-MOV2..	75
FIGURA 4.83 INTERACCIÓN DE CEPAS 264(-), 263(-), 304(-), 265(-), 266(-), 256(-), 265(-), 225(-), 305(-), 319(-), 109(-), 208(-), 313(-), 275(-), 258(-), 111(-), 253(-), 113(-), 223(-) Y 311(-) CON EL HONGO FUSARIUM H-15.	76
FIGURA 4.84 INTERACCIÓN DE CEPAS 264(+), 263(-), 304(-), 265(-), 266(-), 256(-), 265(-), 225(-), 305(-), 319(-), 109(-), 208(-), 313(-), 275(-), 258(-), 111(-), 253(-), 113(-), 223(-) Y 311(-) CON EL HONGO FUSARIUM H-15.	78
FIGURA 4.85 INTERACCIÓN DE CEPAS 264(-), 263(-), 304(-), 265(-), 266(-), 256(-), 265(-), 225(-), 305(-), 319(-), 109(-), 208(-), 313(-), 275(-), 258(-), 111(-), 253(-), 113(-), 223(-) Y 311(-) CON EL HONGO FUSARIUM H-15.	80
FIGURA 4.86 INTERACCIÓN DE CEPAS 264(-), 263(-), 304(-), 265(-), 266(-), 256(-), 265(-), 225(-), 305(-), 319(-), 109(-), 208(-), 313(-), 275(-), 258(-), 111(-), 253(-), 113(-), 223(-) Y 311(-) CON EL HONGO PENICILLUM H-V816.	81
FIGURA 4.87 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 265(-), 264(+), 223(-), 111(-); 266(-), 311(-), 258(+) Y 225(-) CON EL HONGO <i>PENICILLUM</i> H-2.	82
FIGURA 4.88 INTERACCIÓN DE CEPAS 263(-), 304(-), 256(-), 265(-), 305(-), 319(-), 109(+), 208(-), 313(-), 275(-), 253(+) Y 113(-) CON EL HONGO PENICILLUM H-2.	83
FIGURA 4.89 INTERACCIÓN DE CEPAS 263(+), 304(+), 225(-), 305(+), 319(+) Y 109(+) CON EL HONGO H-104.	85
FIGURA 4.90 INTERACCIÓN DE CEPAS 111(+), 317(+), 265(+) Y 264(+) CON EL HONGO H-104.	86
FIGURA 4.91 . INTERACCIÓN DE CEPAS 301(+), 313(-), 258(-) Y 205(-) CON EL HONGO H-104.	86
FIGURA 4.92 INTERACCIÓN DE CEPAS 265 B2(-), 302(-), 119(-) Y 103(-) CON EL HONGO H-104.	87
FIGURA 4.93 INTERACCIÓN DE CEPAS 208(-), 263(+), 225(+), 266(-), 275(+), 222(+), 265(-), 113(+), 319(+), 313(+), 109(+), 305(+), 111(-), 253(-) Y 256(+) CON EL HONGO H-103.	88
FIGURA 4.94 INTERACCIÓN DE CEPAS 213(+), 114(-), 206(+), 270(+), 210(+), 214(+), 301(+), 106(+), 308(-), 314(+), 208(-) Y 205(+) CON EL HONGO H-125.	90
FIGURA 4.95 INTERACCIÓN DE CEPAS 264.1(+), 119(+), 123(-), 210(+), 111(+), 265(+), 317(-) Y 264(+) CON EL HONGO H-125.	90
FIGURA 4.96 CONTROL DEL HONGO H-01.	91
FIGURA 4.97 INTERACCIÓN DE CEPAS 225(+), 313(+), 266(-) Y 208(-) CON EL HONGO H-01.	91
FIGURA 4.98 INTERACCIÓN DE CEPAS 275(+), 113(+), 265(+) Y 111(-) CON EL HONGO H-01.	92
FIGURA 4.99 INTERACCIÓN DE CEPAS 264(+), 256(+), 253(+) Y 258(-) CON EL HONGO H-01.	92
FIGURA 4.100 INTERACCIÓN DE CEPAS 317, 109, 304 Y 113; 319, 305, 113 Y 263 CON EL HONGO H-01.	93
FIGURA 4.101 INTERACCIÓN DE CEPAS 210(+), 265 B2(+), 208(+), 103(+), 265 A(+), 116(+), 114(-), 206(+), 270(+), 223(-), 103(+), 109(+), 111(+), 317(+), 265(+), 225(+) Y 304(+) CON EL HONGO H-01.	96
FIGURA 4.102 CONTROL DEL HONGO ASPERGILLUS H-113.	96
FIGURA 4.103 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 275(+) Y 256(+) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-113.	97
FIGURA 4.104 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 317(-), 253(-), 305(+) Y 113(+) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-113.	97
FIGURA 4.105 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 265(-), 304(-), 111(-) Y 264(-) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-113.	98
FIGURA 4.106 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 225(+), 313(-), 222(+) Y 266(-) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-113.	98
FIGURA 4.107 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 208(+), 109(+), 263(-) Y 319(-) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-113.	99
FIGURA 4.108 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 314(-), 203(-), 102(-) Y 301(-) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-113. LAS.	99
FIGURA 4.109 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 123(-), 264.1(-), 221(-) Y 214(-) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-113.	100
FIGURA 4.110 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 308(-), 210(-), 119(-) Y 306(-) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-113.	100
FIGURA 4.111 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 302(-), 206(-), 117(-) Y 258(-) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-113.	101

FIGURA 4.112 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 208(-), 214(-), 265 B2(-) Y 207(-) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-113. ....	101
FIGURA 4.113 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 265 B(-), 213(-), 106(-) Y 225(+) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-113. ....	102
FIGURA 4.114 INTERACCIÓN DE LAS CEPAS 318(-), 313(-), 265 A (-) Y 114(-) CON EL HONGO ASPERGILLUS H-113. ....	102

# ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
TABLA 4.1 TABLA DE INTERACCIONES PARTE A .....	103
TABLA 4.2 TABLA DE INTERACCIONES PARTE B .....	104
TABLA 4.3 TABLA DE INTERACCIONES PARTE C .....	105

# CAPITULO 1

## INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de la agricultura intensiva se han utilizado sustancias químicas para erradicar y controlar microorganismos u organismos indeseables, así como, agroquímicos que aumentan la productividad de los cultivos. Se tiene registro del siglo XIX cuando se comenzó a utilizar azufre para eliminar hongos, así como el uso de arsénico para eliminar roedores. En la era de los fumigantes y derivados del petróleo, se descubrió la acción plaguicida con base a algunos compuestos, tales como el azufre, cobre, arsénico, piretrinas (sustancias obtenidas de los pétalos del crisantemo) y el fósforo. También compuestos como ácido carbónico y fénico, el sulfato de cobre con cal (caldo de Burdeos), acetoarsénico de cobre (verde de París) y diversos fumigantes como el disulfuro de carbono y el bromuro de metilo (Del Puerto et al., 2014).

A partir de la revolución verde se tuvo gran impacto en el incremento de la productividad agrícola, tras ello, se manifestaron problemas de sostenibilidad económica, social y ambiental. Posteriormente, se planteó el cómo continuar, en términos de mantener la productividad y rentabilidad de los sistemas de producción agrícola, sin tener en cuenta el cuidado del medio ambiente o de los recursos naturales. Luego de décadas del uso desmedido de agroquímicos, actualmente hay estudios que demuestran que el uso de fertilizantes químicos no es del todo eficaz ni económico, debido a que se considera que aproximadamente el 50% no es aprovechado por la planta, sino que se pierde en procesos de lixiviación o debido al contacto con ciertos cationes presentes en el suelo, la presencia de estos cationes provoca reacciones químicas, haciendo insolubles los fertilizantes, por lo tanto, la absorción por la planta se ve afectada. Autores como Espinoza (2020) mencionan que entre el 60 y 90 % del fertilizante total aplicado se pierde, y sólo entre el 40 y 10 % restante es aprovechado por las plantas. El contenido del suelo está regulado por varios aspectos, como el contenido de carbono orgánico, humedad, nitrógeno, fósforo y potasio, así como otros factores bióticos y abióticos. Sin embargo, el uso

indiscriminado de agroquímicos, en especial aquellos que proporcionan nitrógeno y fósforo, ha provocado una contaminación sustancial del suelo al reducir el pH y las bases intercambiables; por lo tanto, hacer que estos nutrientes no estén disponibles para los cultivos conduce a una pérdida de productividad (Gouda et al., 2018).

Tras conocer las pérdidas económicas y de observar el deterioro que hay en nuestros ecosistemas, se han buscado prácticas adecuadas y el empleo de nuevas alternativas que disminuyan el daño ambiental, buscando beneficios para el productor, el mercado y nuestro planeta (Pedraza et al., 2010).

En la actualidad se sabe que los consorcios microbianos pueden ser una alternativa para disminuir el uso de agroquímicos. Los principales grupos de interés son los hongos endófitos y las bacterias promotoras del crecimiento vegetal, este último grupo conocido como PGPR (por su acrónimo en inglés “Plant Growth Promoting Rhizobacteria”). Por ello, es de gran importancia el estudio de las interacciones que existen entre ellos y así lograr potenciar sus funciones benéficas (consorcio-planta) y tener un lugar en el mercado (Santoyo et al., 2010).

## **1.1 Justificación**

En la actualidad la agricultura está pasando por momentos difíciles, pues cada vez es más complicado obtener recursos naturales para lograr producir los alimentos que el mercado demanda. Por ello, los costos de producción aumentan, así como la necesidad de generar alternativas que ayuden a disminuir costos y aumentar los beneficios, tanto del productor, como del mercado, así como del medio ambiente, esto quiere decir, que es necesario disminuir el uso de fertilizantes, herbicidas y pesticidas. Pues el abuso de estos agroquímicos daña cada vez más nuestro planeta. Por ello, es importante usar al ecosistema y agroecosistemas a nuestro favor. Una alternativa es el uso de microorganismos benéficos tales como son hongos endófitos y bacterias promotoras del crecimiento vegetal. Su uso individual incrementa el crecimiento de plantas y ayuda en la defensa hacia ciertos depredadores naturales. Es de gran interés encontrar si existen consorcios mutualistas entre bacterias y hongos, para así potenciar los beneficios que estos ofrecen.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Analizar la interacción entre la colección de hongos endófitos y bacterias promotoras del crecimiento vegetal para lograr consorcios benéficos.

### **1.2.2 Objetivo específico**

Obtener la combinación de interacciones benéficas que logren potenciar el crecimiento de modelos vegetales.

## **1.3 Hipótesis**

Las interacciones positivas hongo endófito – rizobacteria de cooperación mutualista, son consorcios que pueden promover el desarrollo y protección de las plantas.

## **CAPÍTULO 2**

### **ANTECEDENTES**

#### **2.1.1 Rizósfera y suelo**

En una pizca de suelo se encuentran millones de bacterias que pueden transformar ciertos elementos en nutrientes esenciales para la supervivencia de seres vivos presentes en la rizosfera. La rizósfera es de gran importancia, debido a que en ella se lleva a cabo el intercambio de nutrientes entre la atmosfera y el suelo, que involucra la microbiota y las plantas presentes en el, es decir, procesos ecológico-biológicos, y rodea al sistema radicular de la planta. Diversos autores sugieren que la presencia de microbiota es esencial para el crecimiento adecuado de los cultivos y para mantener un equilibrio ecológico (Pedraza et al., 2010; Espinosa et al., 2020).

En la rizosfera existen diversos microorganismos que se alimentan de los exudados de la planta y a su vez, fortalecen el equilibrio biológico y ambiental del suelo. La rizosfera suele dividirse en endorizósfera que es el espacio intercelular entre los tejidos radicales colonizados por microorganismos, la ectorizósfera que es el compartimiento de suelo asociado a la raíz hasta un distanciamiento de 5 mm y finalmente, el rizoplano que es la interfaz entre el suelo y la raíz (Espinosa et al., 2020).

La concentración de bacterias en la rizosfera es aproximadamente de 10 a 1000 veces mayor que en el suelo a granel, pero menor que en un medio de laboratorio. Para mantener sus efectos beneficiosos en el entorno de la raíz, las bacterias deben competir bien con otros microbios de la rizosfera por los nutrientes secretados por la raíz (Gouda et al., 2018).

Existen grupos de bacterias capaces de transformar el nitrógeno atmosférico, reduciéndolo en compuestos disponibles para otros microorganismos y plantas. Este tipo de bacterias suelen usarse como parámetros en la calidad del suelo. La calidad del suelo en los ecosistemas ya sean naturales o modificados se evalúa por la capacidad para mantener o mejorar

la productividad vegetal y animal, la calidad del agua-aire y habitabilidad, así como la salud humana (Benjumeda, 2017). Para que los cultivos y el suelo tengan una buena respuesta a los inoculantes, es necesario conocer la interrelación entre el inoculante y la microbiota nativa, pues de no existir buena interrelación, es posible que existan inconvenientes en el ciclado de nutrientes y compuestos orgánicos (Del Puerto et al., 2014). La participación de las bacterias en la transformación depende del estado fisiológico y actividad enzimática de éstas, además de la biodisponibilidad de los elementos a transformar y la competencia entre los microorganismos presentes en el suelo (Pedraza et al., 2010). Por lo general, las etapas del ciclado de nutrientes están regidas por bacterias, debido a que éstas se alimentan de compuestos como celulosa, hemicelulosa y lignina. Sin embargo, otros microorganismos presentes en el suelo, también se alimentan de dichos polímeros, pues tienen la capacidad de degradarlos y a su vez, convertirlos en compuestos más sencillos para que puedan ser aprovechados por otros grupos de microorganismos presentes en el suelo (Pedraza et al., 2010).

## **2.2 Hongos endófitos**

Los hongos endófitos son microorganismos que habitan dentro de las plantas sin causar síntomas aparentes de enfermedad. Son un grupo de microorganismos que pueden pertenecer al género *ascomycota*, *basidiomycota*, *zygomycota* y *Oomycota*. Logran habitar las hojas, tallos, flores o raíces de una planta y la localización del hongo en la planta depende de la especie. Generalmente el concepto de asociación endofítica se asocia con las micorrizas, ya que, éstas describen una relación mutualista, sin embargo, se han encontrado hongos endófitos que no forman micorrizas y tienen los mismos beneficios (Ordóñez et al., 2012).

La relación que forman con la planta puede ser mutualista, neutral o antagonista. La clasificación de estos hongos depende del lugar en el que se localicen en la planta hospedera. Una de las clasificaciones más comunes es: endófitos claviciptáceos y endófitos no claviciptáceos (Jambon et al., 2018).

Los endófitos claviciptáceos son aquellos que residen en brotes y rizomas en gramíneas. Por otro lado, los no claviciptáceos son aquellos que se encuentran en plantas no vasculares, helechos, coníferas y angiospermas. A su vez se divide en los que colonizan brotes, raíces y rizomas, los que colonizan brotes y los que colonizan solo raíces, estos últimos se les conoce como endófitos septados oscuros. La transmisión de los endófitos puede ser de manera

horizontal mediante esporas, o bien, verticalmente mediante hifas (en semillas) (Jambon et al., 2018).

Se documentó la presencia de hongos endófitos en el año 1898, cuando observaron que ciertos animales después de consumir pastos presentaban síntomas de intoxicación, pero fue hasta el año de 1977 que Bacon relacionó la presencia de *Neotyphodium coenophialum* con el síndrome de verano (Sanchez et al., 2013). En 1988 Clay propuso la interacción mutualista que existe entre ciertos hongos y pastos. La relación entre un hongo endófito y su planta hospedera está relacionada con la producción de factores de virulencia y los metabolitos de defensa que produce la planta ya sea por vías bioquímicas o mecánicas, de factores ambientales y de las etapas de desarrollo de ambos organismos (Frey et al., 2011). Cuando existe equilibrio entre los factores ya mencionados, se produce una relación endofítica. Sin embargo, si la planta se encuentra en senescencia o bajo estrés, el hongo será detectado como un patógeno, por ende, logrará infectar a la planta y así, producirá síntomas (Sanchez et al., 2013).

Es de gran interés la relación que existe entre el hospedante como el hospedero, ya que el hongo es capaz de producir metabolitos bioactivos, así como modificar los mecanismos de defensa de su hospedero, permitiendo e incrementando la sobrevivencia de ambos organismos (Gamboa, 2006).

Los hongos endófitos pueden proteger a la planta contra factores bióticos y abióticos, además de producir metabolitos alelopáticos, esto quiere decir que impide el crecimiento de otros microorganismos alrededor de este. Los mecanismos de protección se dividen en tres, directos, indirectos y ecológicos (Sanchez et al., 2013). El mecanismo directo de protección se caracteriza por la producción de enzimas o metabolitos secundarios, por otro lado, el mecanismo indirecto tiene la capacidad de producir la inducción de mecanismos de defensa químicos y fisiológicos de la planta (Simuco et al., 2017; Sanchez et al., 2013). El mecanismo de protección ecológico es por medio de predación o hiperparasitismo (Sanchez et al., 2013).

Los hongos contribuyen a la mineralización del carbono en el suelo, además tienen un papel antagónico ante hongos fitopatógenos. Generalmente degradan compuesto formados por celulosa pues el requerimiento de nitrógeno suele ser bajo (Simuco et al., 2017). Las levaduras son un grupo de microorganismos pertenecientes al reino fungi, los principales géneros utilizados son *Saccharomyces* y *Candida*. Su principal función como microorganismos

benéficos son la producción de enzimas y hormonas que pueden ser utilizadas por las bacterias ácido lácticas. Además, cuentan con un amplio espectro en sus fuentes de carbono y no son capaces de asimilar nitritos ni nitratos como fuente de nitrógeno y sus fuentes de fosforo se encuentran en forma de sulfatos (Ordóñez et al., 2012). Los principales hongos fermentadores son *Aspergillus oryzae* (tiene usos en la cocina occidental como fermentador de diversos cereales y legumbres, es un hongo filamentoso, aeróbico), *Penicillium sp* (tienen una función importante en la degradación de celulosa y lignina, además, cuenta con una buena adaptación en ambientes ácidos y con niveles hídricos bajos) y *Trichoderma sp* (produce diversos compuestos enzimáticos capaces de degradar materia orgánica, además puede encontrarse en casi cualquier lugar) (Morocho & Leiva, 2019).

El género *fusarium* es un grupo de hongos filamentosos que se encuentran en el suelo y en las plantas. De las más de 100 especies, sólo se sabe que 12 de ellas son patógenas en humanos (Pérez et al., 2015). Se considera un hongo oportunista por las condiciones climáticas en las que crece, especialmente por la temperatura (37°C). Para identificar su taxonomía es necesario contar con experiencia, pues es un género bastante complejo. Su estructura es fina, en forma de botella, puede ser simple o ramificada (Jambon et al., 2018). Presentan macroconidios y estos forman esporodoquios. Para su crecimiento in vitro, pueden utilizarse diversos medios de cultivo, en los que se encuentra agar papa dextrosa (PDA), agar Sabouraud, agar Claver y agar avena. La ventaja de utilizar el medio PDA o Sabouraud es que permiten observar el diámetro de la colonia, su morfología y si crea alguna coloración en el medio, esto con el fin de facilitar la identificación (Tapia & Amaro, 2014).

El género *Penicillium* posee un grupo grande de especies, son hongos filamentosos y se encuentran en el suelo, aire y en la vegetación, ya sea en residuos de plantas, o bien, en plantas vivas. Se caracterizan por no necesitar mucha humedad para su crecimiento. Sus esporas pueden prevalecer por periodos largos, por ello, con las condiciones óptimas pueden crecer. Su caracterización es más sencilla por su forma reproductiva que es asexual, por ende, forma conidióforos (Quintana et al., 2010).

El género de hongos *Aspergillus* contiene alrededor de 600 especies y se clasifican de acuerdo con las formas morfológicas que contienen como levaduras e hifas. En el grupo de hifas se clasifican en pigmentadas, estas se encuentran en heno, compostaje, agua, aire y suelo. Son

organismos oportunistas y se reproducen asexualmente. Su estructura está formada por hifas y conidióforos. En la forma saprofítica aparece como un hongo con hifas septadas del que surgen los conidióforos (Cuervo et al., 2010).

### **2.3 Bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR)**

Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), pueden ser aerobias anaerobias o anaerobias facultativas (Loredo et al., 2004). Se encuentran en la rizósfera y son microorganismos que tienen la capacidad de estimular el crecimiento de ciertas especies vegetales, se caracterizan por su eficiencia fijando nitrógeno, solubilizando fosfatos (orgánico e inorgánico), produciendo compuestos indólicos, así como en la descomposición de residuos de cultivos, mineralización de materia orgánica e inmovilización de nutrientes minerales espacio (Espinosa et al., 2020). Las PGPR modifican la fisiología de las plantas y las propiedades nutricionales del suelo. Además, se ha demostrado que incrementan la absorción de compuestos como calcio, potasio, hierro, cobre y zinc, mediante la producción de ácidos orgánicos por la planta y la disminución del pH por las PGPR. (Loredo et al., 2004; Espinosa et al., 2020).

Los mecanismos de las PGPR pueden ser directos o indirectos, los efectos directos son la fijación de nitrógeno atmosférico, producción y síntesis de sideróforos, solubilización de minerales, la síntesis de fitohormonas, así como la producción de ACC desaminasa, antibióticos, enzimas, competición, cianuro de hidrógeno, RSI y la extinción del quórum (Oluwaseyi et al., 2017). Los mecanismos indirectos de las PGPR son por medio de la inhibición del crecimiento de otros microorganismos, generalmente patógenos. Es decir, el bio-control de fitopatógenos principalmente por la producción de antibióticos y reducción de hierro. En la actualidad la aplicación de estas bacterias puede ser por medio de inoculación de semillas, sustratos, plántulas, follaje y frutos (Virgen, 2011; Pedraza, et al., 2010).

Algunos autores como Gouda (2018), han clasificado a las PGPR como growth promoting rhizobacteria (ePGPR) e intracellular plant growth promoting rhizobacteria (iPGPB). Dentro de las ePGPR se encuentran aquellas que habitan en la rizosfera (en el rizoplano) o en los espacios entre las células de la corteza radicular. Los principales ePGPR son *Azotobacter*, *Serratia*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Caulobacter*, *Chromobacterium*, *Agrobacterium*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Arthrobacter*, *Micrococcus*, *Pseudomonas* y *Burkholderia*. Por otro lado, las

iPGPB habitan dentro de las estructuras nodulares, las principales bacterias endofíticas son *Allorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium* y *Rhizobium* (Gouda et al., 2018).

En regiones donde las condiciones climáticas cuentan con humedad alta, el suelo tiende a tener pH ácido, debido a la lixiviación de cationes. Este tipo de suelo tiende a producir compuestos químicos como óxido de hierro y aluminio. En regiones con clima seco, el suelo tiende a tener altas concentraciones de cationes alcalinos, es decir, un pH básico (Scherlach et al., 2013). Por ello, el pH juega un papel muy importante, pues en caso de contar con suelos ácidos se puede ver afectado el crecimiento de las plantas, la producción, el rendimiento, la población y actividad microbiana, tanto benéficas como de patógenos. Así como la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Espinosa et al., 2020).

Cada bacteria en particular puede afectar al crecimiento de la planta, utilizando uno o varios de estos mecanismos. Sin embargo, es difícil delimitar el mecanismo de acción utilizado, debido a que pueden utilizar diversos mecanismos simultáneamente y a que son necesarios estudios del estado nutricional de las plantas y del suelo en presencia y ausencia de nutrientes, análisis de la morfología aérea y radical, así como ensayos del efecto de la inoculación en condiciones estériles y no estériles (Gómez et al., 2012).

El surgimiento de estos resultados positivos hace que el interés por las PGPR aumente, pues se ha encontrado que ayudan a los cultivos en el aporte de nitrógeno, por ejemplo, el aporte de bacterias fijadoras de nitrógeno es de aproximadamente 20 a 50 Kg/ha de nitrógeno en cultivos como maíz y arroz en china, en caña de azúcar es de hasta 150 Kg/ha. Las principales PGPR utilizadas y comercializadas actualmente son bacterias del género *Azospirillum*, que han demostrado una respuesta positiva en cultivos de maíz, trigo y soja. Así como *Azobacter chroococcum* en cultivos de algodón, gramíneas y hortalizas. En arroz se han obtenido incrementos en el rendimiento de hasta el 81% en invernadero y en campo del 20% (Pedraza et al., 2010). Las PGPR han sido aplicados en cultivos tales como jitomate y han demostrado tener la capacidad de incrementar el rendimiento y la calidad del fruto, así como la vida de anaquel (Espinosa et al., 2017).

Entre las PGPB se encuentran las endófitas, epifitas, simbióticas y asociativas. Las bacterias ácido lácticas son generalmente utilizadas en la industria alimentaria, pues son importantes en los procesos de elaboración de diversos productos como lo son quesos, leche,

crema, yogurt, embutidos y cerveza (Scherlach et al., 2013). Morfológicamente pueden ser cocos o bacilos gram negativos, no esporulados, anaerobios y se caracterizan por producir ácido láctico. Los principales géneros estudiados son *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Lactococcus*, *Streptococcus* y *Pedococcus*. Sus condiciones óptimas de crecimiento son pH de 4-4.5, sin embargo, existen excepciones, pues pueden crecer en condiciones muy ácidas o básicas. Su crecimiento es lento y su temperatura generalmente ronda entre los 30 °C (Morocho & Leiva, 2019). Por otro lado, las bacterias fotosintéticas se caracterizan por ser autótrofas facultativas, las principales especies son *Rhodospseudomonas palustris* (se caracteriza por producir diversos compuestos que posteriormente serán utilizados por microorganismos heterótrofos) y *Rhodobacter sphaeroides* (se caracteriza por vivir en agua dulce y salada, además de formar una superficie rosada en estanques y por tener un peritrico) (Morocho & Leiva, 2019).

La principal función de los Actinomicetes consiste en la solubilización de la pared celular o componentes de plantas, insectos u hongos. Por ello, son de gran ayuda en los compostajes y mejoramiento de la calidad en suelos (Pérez et al., 2015) Los principales géneros de actinomicetes son *Streptomyces*, algunas de estas especies tienen papeles importantes en el control biológico, ya que producen enzimas hidrolíticas y con ello, pueden inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos (Morocho & Leiva, 2019). Las bacterias del género *Pseudomonas* favorecen la nutrición de la planta, regula los niveles hormonales y la expresión de genes relacionados con el crecimiento, así como la inducción de antioxidantes y osmolitos. En general, las rizobacterias mejoran la tasa fotosintética por la excelente asimilación del CO<sub>2</sub> y por su función a nivel fotoquímico en los fotosistemas (Pérez et al., 2015; Morocho & Leiva, 2019).

## **2.4 Mecanismos benéficos proporcionados por las PGPB y hongos endófitos**

### **2.4.1 Señalización**

Las interacciones se dan por medio de la señalización, esto quiere decir que todos los involucrados en la interacción producen compuestos químicos, que a su vez son reconocidos para así, producir una respuesta de transformación o resistencia (Sarabia et al., 2010). Al generarse el reconocimiento de dichos compuestos se produce la transcripción de genes específicos como respuesta al estímulo (Jambon et al., 2018).

## **2.5 Mecanismos directos de las PGPR**

### **2.5.1 Antibióticos**

Algunas bacterias de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas* producen una variedad de metabolitos que sirven como agentes antifúngicos, antibacterianos, antihelmínticos, antivirales, antimicrobianos, fitotóxicos, antioxidantes, citotóxicos (Huerta, 2016). Para *Bacillus* se derivan del ribosoma o del péptido no ribosómico y/o policétido sintetasa (NRPS/PKS), por otro lado, *Pseudomonas* se derivan de 2,4-diacetil floroglucinol (DAPG), ácido pseudomónico, fenazina-1-carboxílico ácido (PCA), piroluteorina, pirrolnitrina, oomicina A, cepaciamida A, viscosinamida, butirolactonas, zwittermicina A, aerugina, azomicina, ramnolípidos, cepafunginas, kanosamina y karalicina (Oluwaseyi et al., 2017; Huerta, 2016).

### **2.5.2 Enzimas degradadoras de la pared celular**

Los principales métodos de defensa de la planta consisten en la producción de enzimas con capacidad lítica, la producción de estas enzimas va dirigida a diversos compuestos presentes en la pared celular de la planta, tal es el caso de la quitinasa, proteasa y lipasa (Sarabia et al., 2010). Si bien, la quitinasa se encarga de degradar la quitina presente en la pared celular de los hongos. Por otro lado, enzimas como la proteasa degradan las proteínas presentes en la pared celular y las enzimas lipasa degradan compuestos como lípidos presentes en la pared celular (Oluwaseyi et al., 2017). Si bien, la producción de este tipo de enzimas no es exclusivo de plantas, sino que existen PGPB que son capaces de sintetizarlas, principalmente bacterias del género *Bacillus* que han sido modificadas (Oluwaseyi et al., 2017; Huerta, 2016).

### **2.5.3 Producción de hidrógeno**

Mecanismos de defensa como la producción de cianuro de hidrógeno (HCN) son menos eficaces que los anteriormente mencionados, sin embargo, al trabajar en conjunto con ellos, se mejora la eficacia en la producción de antifúngicos (Scherlach et al., 2013). La producción de HCN crea toxicidad en el fitopatógeno por la inhibición del citocromo c oxidasa y otras metaloenzimas (Jambon et al., 2018).

### **2.5.4 Resistencia sistémica inducida (ISR)**

Una manera eficiente de preparar a la planta ante el ataque de diversos patógenos es el pretratamiento con PGPR, pues esto hará que la reacción ante el ataque sea más rápida y con

mayor fuerza. El ISR no es específico de algún fitopatógeno, sino que prepara a la planta para que actúe ante cualquier fitopatógeno que la ataque, sin importar el sitio de inducción, además la ISR es regulada por fitohormonas (Espinosa et al., 2020).

La resistencia sistémica inducida (ISR) es controlada por medio de cascadas de señalización y regulada mediante las fitohormonas ácido jasmónico y etileno. La ISR lleva a cabo la activación de diversas enzimas de defensa, como quitinasa,  $\beta$ -1,3-glucanasa, fenilalanina amoniaco liasa, polifenol oxidasa, peroxidasa, lipoxigenasa, SOD, CAT y APX junto con algunos inhibidores de proteinasas. Produciendo resistencia en la pared celular, así como potenciando la respuesta ante el ataque de microorganismos fitopatógenos e insectos. Se conoce que las PGPR producen enzimas que tienen un papel importante en la lisis de la pared celular de ciertos patógenos. Las principales enzimas producidas por PGPR son  $\beta$ -1,3-glucanasa, ACC-desaminasa y quitinasa. La producción de compuestos orgánicos volátiles (COVs) suele ser la responsable de la respuesta en la resistencia, tolerancia ante estrés y el aumento de biomasa en la planta (Espinosa et al., 2020).

#### **2.5.5 Producción de ácido salicílico (SA)**

La producción de ácido salicílico por parte de un grupo limitado de PGPB puede activar una molécula similar a la ISR, la cual recibe el nombre de resistencia sistémica adquirida (SAR), la inducción de SAR, se da por medio de la activación de genes relacionados con la patogénesis (PR) codificadores de PR (Espinosa et al., 2020). La proteína regulada por redox que no expresa genes PR1 (NPR1) es sintetizada en el citoplasma. La función de este gen es de importancia en ISR dependiente de ácido jasmonico/etileno en *P. fluorescens* (Espinosa et al., 2020; Jambon et al., 2018).

El ISR mediado por PGPB y el SAR dependiente de SA son coordinados por diferentes vías de señalización, lo que fue respaldado por las observaciones de que tanto la ISR mediada por PGPB como la SAR inducida por patógenos son mecanismos de control efectivos, pero su grado de efectividad es ligeramente diferente (Jambon et al., 2018).

#### **2.5.6 Quorum sensing**

Las bacterias individuales usan señales químicas para comunicarse entre sí, y así poder coordinarse como población. A este proceso se le conoce como quorum sensing y es un tipo de

comunicación microbiana célula-célula. El Quorum sensing regula procesos como la motilidad, la formación de biopelículas, la esporulación, la producción de antibióticos y la secreción de factores de virulencia (Badía, 2011). En el quorum sensing se sintetizan sustancias químicas de bajo peso molecular llamada autoinductores que se secretan fuera de las células bacterianas. El aumento de las células bacterianas es proporcional al nivel de autoinductores, una vez superado el umbral los receptores bacterianos estos se unen a las células y desencadenan una cascada de señalización (Oluwaseyi et al., 2017). Existen dos tipos de regulación que es intraespecífica (Gram negativas reguladas por lactonas de homoserina) e interespecíficas (Gram positivas reguladas por péptidos). Gracias a la evolución, las plantas tienen la capacidad de producir compuestos similares a los que producen las bacterias en el quorum sensing, con estos compuestos es posible inducir la detección de quorum. Otro mecanismo es la inhibición de la comunicación bacteriana. Las respuestas de la planta pueden ser defensiva o de estimulación de cambios en el desarrollo. La respuesta depende de la estructura y concentración de quorum (March & Eiros, 2013). Una forma de frenar el quorum sensing es por medio de las PGPB que producen lactonasa. Esta enzima se encarga de degradar el autoinductor producido por patógenos. Otra forma es mediante el pretratamiento de las plántulas de plantas con PGPB (Oluwaseyi et al., 2017).

### **2.5.7 Competencia**

Si bien, la competencia por nutrientes y espacio es algo que sucede en el día a día en los ecosistemas, sin embargo, en el caso de las PGPB, el hecho de que ejerzan competencia en la rizosfera ha demostrado que crean efectos positivos en el crecimiento de algunos cultivos, como es el caso de tomate por medio de *Bacillus megaterium*. El efecto positivo se debe a que impiden el crecimiento de diversos microorganismos fitopatógenos mediante mecanismos de defensa anteriormente mencionados (March & Eiros, 2013).

### **2.5.8 Síntesis de compuestos orgánicos volátiles**

Los compuestos orgánicos volátiles (COVs) son metabolitos secundarios producidos por diversos organismos y tienen la función de comunicación. Las mezclas de COVs producidas por estos microorganismos pueden utilizarse como una estrategia frente a patógenos, o bien, para incrementar el crecimiento de la planta (Simuco et al., 2017). Las interacciones benéficas mediadas por COVs tienen funciones antimicrobianas, interferencia con los sistemas de

detección de quórum, coordinación de la expresión génica, formación de biopelículas, virulencia y tolerancia al estrés (Jambon et al., 2018).

### **2.5.9 Síntesis de sideróforos**

Los sideróforos solubilizan el hierro (Fe), este proceso es inducido por las limitaciones de Fe en el medio y regulada por proteínas dependientes de Fe y del pH, así como trazas de carbono, nitrógeno y fósforo. En este sentido, uno de los métodos para estimular indirectamente el crecimiento de las plantas es mediante la producción y secreción de sideróforos y como resultado previene que cualquier microorganismo patógeno proliferen (Espinosa et al., 2020). Existen microorganismos que pueden prevenir o disminuir el crecimiento de patógenos al reducir la cantidad de hierro disponible, mediante la producción de sideróforos con una alta afinidad por el hierro presente en el suelo (Oluwaseyi et al., 2017). El hecho de que la cantidad sea limitada para otros microorganismos hace que su proliferación sea baja, por ende, se evita que se conviertan en patógenos. Cabe resaltar que el hierro tiene un importante papel en la producción de clorofila. Los grupos funcionales de los sideróforos microbianos son principalmente hidroxamatos, catecolatos (se unen al hierro con más fuerza que los hidroxamatos), carboxilato, citrato o etilendiamina. Es posible encontrar una sola molécula de sideróforo formada por todos los grupos funcionales antes mencionados. Generalmente los sideróforos de tipo hidroxamato se encuentran en hongos, mientras que los catecolatos son comunes en los sideróforos bacterianos. El ácido mugineico y el ácido avenico son sideróforos vegetales que tienden a unirse al hierro de manera más eficiente que los sideróforos bacterianos (Oluwaseyi et al., 2017).

### **2.5.10 Fitohormonas**

Las fitohormonas son compuestos químicos producidos internamente por las plantas en el tejido vegetal que viajan a través del xilema o floema, teniendo un papel importante en procesos fisiológicos como la floración, maduración de frutos, el crecimiento de raíces, tallos y hojas. La producción de fitohormonas es a nivel celular, generalmente es en bajas concentraciones y la producción de estos compuestos afecta el comportamiento en el crecimiento vegetal (Alcantara et al., 2019). Se conocen diversas fitohormonas, las principales

son: Auxinas, giberelinas, ácido absísico, etileno, citoquininas y ácido jasmónico (Portela, 2017).

## 2.6 Principales funciones de las fitohormonas

### 2.6.1 Auxinas

Las auxinas participan durante todo el ciclo de vida de la planta e intervienen en procesos de crecimiento y elongación (Garay et al., 2014). La producción de la auxina AIA por rizobacterias tiene funciones importantes en la división, extensión y diferenciación celular de las plantas; estimula la germinación de semillas y tubérculos; incrementa la tasa de desarrollo del xilema y raíces; controla los procesos de crecimiento vegetativo; inicia la formación de raíces laterales y adventicias mediante las respuestas a la luz, la gravedad y fluorescencia; además, afecta a la fotosíntesis, la formación de pigmento, la biosíntesis de diversos metabolitos y la resistencia a condiciones estresantes. Es sintetizada por diversas vías metabólicas en función de la bacteria a partir del triptófano también presente en los exudados de las raíces. Aumenta el área superficial y la longitud de la raíz y, por lo tanto, proporciona a la planta un mayor acceso a los elementos nutritivos del suelo (Aguilar et al., 2018). Además, el AIA bacteriano ablanda las paredes celulares de las plantas y, como resultado, facilita una cantidad creciente de exudación de la raíz que proporciona elementos nutritivos adicionales para soportar el crecimiento de las bacterias en la rizósfera como *Acetobacter*, *Azospirillum*, *Alcaligenes*, *Enterobacter*, *Mycobacterium*, *Microbacterium*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Shingomonas* y *Xanthomonas*. Estos géneros sintetizan el AIA, principalmente por la vía de indol-3-ácido pirúvico, indol 3-acetonitrilo, la triptamina e indol-3-acetamida (Espinosa et al., 2020).

Según algunos autores, se estima que aproximadamente el 80% de las bacterias pueden sintetizar fitohormonas como la auxina. Se sabe que la IAA, tiene la capacidad de modificar las reservas de auxina, provocando el aumento en la biodisponibilidad de exudados en la raíz, así como la elongación las raíces (Oluwaseyi et al., 2017). La producción de la auxina se da principalmente en el ápice del brote, posteriormente pasa por el meristemo apical y finalmente se acumula en el centro inactivo (QC). Proteínas tales como PIN, ABCB y AUX1/LAX son proteínas de auxina y tienen la función de activarse por medio de una cascada de señalización, en donde se involucran receptores de auxina del inhibidor de transporte de la proteína TIR1. En procesos del desarrollo de la planta, tales como la embriogénesis, los principales actores en el

desarrollo de la raíz primaria son las células madre (Mantilla & Negrete, 2015). Por otro lado, factores de transcripción como plétora actúa independientemente de factores como SHR y SCR. El factor SHR generalmente es quien activa SCR al transportarse hacia el núcleo de las células adyacentes. La activación de SCR inhibe la diferenciación celular y el mantenimiento de células madre por medio de la regulación de citoquininas. Los niveles de auxina pueden estimular o inhibir el crecimiento en la planta, mediante la síntesis de IAA que produce compuestos como ACC, seguidos de la producción de etileno. Por ello, la auxina tiene la capacidad de afectar el desarrollo de las raíces, y de la planta en general. Es decir, al producirse IAA a partir de triptófano se generarán compuestos como ACC, dicho compuesto generará el aumento de etileno, produciendo efectos negativos en la planta, sin embargo, la producción de ACC desaminasa por parte de las PGPB, harán que el efecto negativo que sería producido por la IAA no sea significativo, sino que se contrarrestará y se promoverá el crecimiento de la planta. La disminución en los efectos negativos de concentraciones altas de etileno se ve afectada por la ACC desaminasa, debido a que éste compuesto los descompone en amoníaco y  $\alpha$ -cetobutirato. En caso de que las concentraciones de auxina de la planta ya sean óptimas, las generadas por las bacterias simplemente harán que el desarrollo de las raíces no aumente ni disminuya (Oluwaseyi et al., 2017).

### **2.6.2 Giberelinas**

Giberelinas (Gas) son una familia diterpénicas, presentes en plantas y en hongos. Estas fitohormonas están involucradas en diversas funciones metabólicas requeridas por las plantas tal como la germinación de semillas, la elongación del tallo, la altura de la planta, la expresión sexual, la floración, la formación de frutos, la senescencia y también promueven el alargamiento de la raíz principal y la expansión de las raíces laterales. En general regula el crecimiento y desarrollo de semillas y frutos (Contreras et al., 2001; Espinosa et al., 2020). Se han caracterizado 136 giberelinas en plantas superiores (128 especies), 28 GAs en hongos (siete especies) y sólo cuatro (GA1, GA3, GA4 y GA20) en bacterias (siete especies). Las PGPB que producen esta hormona principalmente son *Agrobacterium* spp, *Azospirillum* spp, *Azotobacter* spp, *Bacillus* spp, *Pseudomonas* spp, *Rhizobium* y *Xanthomonas* (Espinosa et al., 2020; Oluwaseyi et al., 2017).

### **2.6.3 Ácido Abscísico**

Ácido abscísico (ABA) se asocia a la inhibición de la germinación de semillas, desarrollo en latencia y a procesos relacionados a condiciones abióticas como sequía, frío y salinidad. El ABA puede regular respuestas genómicas y no genómicas. En condiciones de estrés se encarga del cierre estomático y de la absorción de agua mediante la raíz para así mantener un balance de agua en la planta (Flórez & Aleixo, 2009).

### **2.6.4 Etileno**

El etileno es una hormona gaseosa conocida por ser específica, se sintetiza en todos los órganos de la planta, incluyendo meristemas con activa división celular. La producción de etileno aumenta naturalmente durante la abscisión de la hoja y la senescencia floral, así como durante la maduración del fruto (Alcantara et al., 2019). Las heridas en la planta inducen la biosíntesis de etileno, así como cualquier estrés abiótico como encharcamiento, congelación, infección, calor o estrés hídrico (Alcantara et al., 2019). El contacto de la planta con algunos microorganismos induce la producción de esta fitohormona como respuesta al posible ataque (Luján et al., 2016; Jambon et al., 2018). El etileno participa en procesos como maduración de frutos, crecimiento de pecíolo, incremento en el grosor de tallos jóvenes, inhibición de alargamiento de tallos, promueve la abscisión de hojas, flores y frutos; además de la senescencia, rompe la dominancia de yemas y semillas, induce la formación de raíces y pelos radiculares (Luján et al., 2016).

La síntesis de etileno puede ser afectada por la concentración de otras hormonas, así como factores bióticos o abióticos. Las concentraciones altas de etileno pueden deberse a la presencia de metales, temperaturas poco óptimas, estrés hídrico, daño por microorganismos u organismos fitopatógenos y heridas mecánicas (Ramírez & Rodríguez, 2010). La producción elevada de etileno afecta el desarrollo de raíces y brotes, en casos extremos, provoca senescencia, clorosis y abscisión de las hojas. Una alternativa para contrarrestar los efectos del etileno en condiciones poco favorables es el uso de PGPB, pues tienen la capacidad de producir ACC desaminasa. Cuando las PGPB producen ACC desaminasa se disminuyen los valores de 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC), haciendo que la concentración de etileno baje, por lo tanto, se ve reflejada una disminución en los efectos negativos provocados por la acumulación de etileno en la planta (Oluwaseyi et al., 2017).

### 2.6.5 Citoquininas

Las citoquininas producidas por bacterias han sido poco estudiadas. En general, las citoquininas se distribuyen en algas, bacterias y plantas. En plantas, se produce en las raíces y son transportadas por medio del xilema, para finalmente llegar a los brotes. Las citoquininas son fitohormonas derivadas de la adenina (derivados purínicos), que se forman en casi todos los tejidos de la planta y actúan como promotores del crecimiento vegetal. Inducen la elongación de las raíces, la formación de raíces adventicias, la acumulación de clorofila y estimula la generación de brotes axilares, en general tienen la capacidad de iniciar la proliferación de tejidos y división celular y se sabe que la mayor producción de citoquininas se localiza en los ápices de la planta (Alcantara et al., 2019). La función principal de las citoquininas radica en la diferenciación celular de tejidos meristemáticos. La cinetina es una citoquinina sintética por ser producida por una levadura y fue la primer citoquinina reconocida. En plantas, la zeatina es la más conocida y fue aislada de maíz. En plantas se encuentran dos tipos de citoquininas, tipo adenina (kinetina y zeatina) y fenilurea (difenilurea y tidiazurón). La citoquinina es de gran importancia, pues no sólo está involucrada en la germinación o crecimiento, sino que se involucra en procesos de defensa, como la interacción de planta-patógeno, además, estudios demuestran que niveles altos de citoquinina retrasan la senescencia. Sin embargo, para obtener niveles más altos de citoquinina, es necesario tener cepas transformadas. Las principales PGPB productoras de citoquininas son *Agrobacterium*, *Aminobacter*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Blastobacter*, *Esche-richia*, *Erwinia*, *Hyphomicrobium*, *Methilobacterium*, *Methylobacter*, *Methylobacterium*, *Methylomonas*, *Methylophylus*, *Methylosinus*, *Methylovorus*, *Paracoccus*, *Pseudomonas* (Espinosa Palomeque et al., 2020).

### 2.6.6 Ácido jasmónico

El ácido jasmónico puede encontrarse en órganos jóvenes de hojas, flores y frutos, y en menor concentración en raíces, hojas viejas y maduras. Tiene la función de regular el crecimiento y desarrollo de las células de la planta, y de regular procesos involucrados en el envejecimiento de la planta. Se sintetiza en cloroplastos y vacuolas. Además, están presentes en diversos organismos, tales como hongos, algas, mohos, hortalizas, entre otros (Alcantara et al., 2019).

## **2.7 Factores Nod y Myc**

El primer contacto que ocurre entre la planta y el hongo, es por medio de exudados de la raíz formados generalmente por fosfato inorgánico (Pi), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y fitohormonas. El contacto de CO<sub>2</sub> con el hongo, hace factible la germinación de esporas y el crecimiento de hifa germinativa (Ramírez & Rodríguez, 2010). La comunicación planta-hongo, hace posible la regulación en la expresión genética, haciendo posible la interacción benéfica entre ambos organismos. Los factores Myc al estar en contacto con la activación de la expresión genética provocan la formación del aparato de penetración, el cual le dará acceso a las células de la planta (Espinosa et al., 2017). Una vez que ingresa a la célula, las hifas comienzan a extenderse, hasta colonizar. Al producirse la colonización, las células vegetales pasan por cambios morfológicos, bioquímicos y por ende genéticos para así, reorganizarse y crear membranas, a su vez continuar con procesos de intercambio y producción de compuestos químicos (proteínas y nutrientes). Los factores Nod generalmente se les conocía en procesos simbióticos con papas. Al igual que los factores Myc, los factores Nod responden a ciertas cascadas de señalización (Ramírez & Rodríguez, 2010).

## **2.8 Fijación de nitrógeno atmosférico**

A pesar de que alrededor del 78% del aire está conformado por nitrógeno, este no es asimilable por casi ningún organismo vivo, por lo que la única manera de proporcionarlo a cultivos, es por medio de compuestos químicos (Virgen, 2011). Sin embargo, tras estudiar cultivos de leguminosas se encontró la presencia de bacterias que formaban nódulos y a su vez, lo asimilaban en nitrógeno atmosférico, convirtiéndolo en amoniaco y haciéndolo disponible para las plantas (Espinosa et al., 2020). La conversión del nitrógeno atmosférico requiere una gran cantidad de ATP, por ello, cuando se tiene una relación mutualista bacteria-planta, la planta le proporciona carbono para que la bacteria continúe con los procesos de fijación de nitrógeno por medio de la enzima nitrogenasa en las raíces (Pedraza et al., 2010). Cuando existe una relación mutualista, la bacteria se ubica en las raíces e inicia cambios en ellas, haciendo posible la aparición de nódulos radiculares (Oluwaseyi et al., 2017). Existen diversos procesos en los que está involucrada la enzima nitrogenasa, es decir, algunas bacterias llevan a cabo la reducción de nitrógeno en donde se pierde hidrógeno, haciendo que el gasto de ATP sea mayor. Sin embargo, algunas bacterias tienen la enzima hidrogenasa, que recupera el hidrogeno perdido y

lo convierte en  $H^+$  para la producción de ATP. Es decir, tienen la capacidad de conservar energía mientras fijan nitrógeno (Oluwaseyi et al., 2017).

El nitrógeno es necesario en la planta para llevar a cabo procesos tales como la síntesis de ácidos nucleicos, proteínas, clorofila, enzimas y fitohormonas. Sin embargo, las plantas no asimilan el nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ), sino que requieren fuentes como amonio ( $NH_4$ ) y nitrato ( $NO_3$ ). Existen microorganismos capaces de llevar a cabo esta reacción mediante el uso de la enzima nitrogenasa de molibdeno (Loredo et al., 2004). Las bacterias fijadoras de nitrógeno son generalmente las pertenecientes al género *Rhizobium*, *Ensifer*, *Mesorhizobium*, entre otros. Y las bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre se encuentran *Azospirillum*, *Azobacter*, *Anabaena*, entre otras (Espinosa et al., 2017). La biofijación de nitrógeno atmosférico se lleva a cabo mediante la relación mutualista de la planta y los microorganismos presentes en el suelo, debido a que la planta se vuelve huésped de los microorganismos, al tiempo que les proporciona carbono. Por otro lado, los microorganismos hacen posible la biodisponibilidad del nitrógeno en el suelo. La biofijación de nitrógeno ha sido mayormente estudiada en leguminosas, sin embargo, existe la posibilidad de que puedan ser utilizados en diversos cultivos (Espinosa et al., 2020).

## 2.9 Solubilización de fósforo

La asimilación de agroquímicos fosfatados en la planta generalmente es del 25%, mientras el 75 % reacciona con compuestos químicos presentes en el suelo (pH alto:  $Fe^{+3}$  y  $Ca^{+2}$ ; pH bajo:  $Al^{+3}$ ) convirtiéndolos en compuestos poco solubles, haciendo imposible la asimilación de fosfato en la planta. Las bacterias solubilizadoras de fosfato convierten el fosfato orgánico e inorgánico insoluble en una soluble (Benjumeda, 2017). La producción de compuestos tales como ácido glucónico o cetoglucónico producen la acidificación de células microbianas y su entorno, mediante la liberación de iones fosfato. El pH es un factor de gran importancia en cuanto a la disponibilidad de fosfato (Oluwaseyi et al., 2017). Las PGPB tienen la capacidad de solubilizar fuentes de fósforo presentes en el suelo, tales como el fitato y compuestos orgánicos (Gouda et al., 2018). Las PGPR solubilizan fosfato orgánico a  $H_2PO_4^{-1}$  y  $HPO_4^{-2}$  al producir ácidos orgánicos dependientes de carbono presente en la rizósfera como: ácido cítrico, láctico, succínico, glucónico o por medio de la enzima fosfatasa. Los géneros de PGPB que han demostrado la capacidad de biosíntesis de fosfato han sido *Agrobacterium*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, entre otras (Espinosa et al., 2020).

## 2.10 Exopolisacáridos (EPS)

Los exopolisacáridos son polímeros extracelulares biodegradables de alto peso molecular que están formados por residuos de monosacáridos y sus derivados. Son biosintetizados por una amplia gama de bacterias, algas y plantas (Mantilla & Negrete, 2015). Los EPS desempeñan un papel muy importante en el mantenimiento del potencial hídrico, agregando partículas del suelo, asegurando el contacto obligado entre las raíces de las plantas y las rizobacterias, manteniendo al huésped en condiciones de estrés (suelo salino, clima seco o anegamiento) o patogénesis y, por lo tanto, son directamente responsables del crecimiento y cultivo de las plantas (Gouda et al., 2018).

## 2.11 Interacciones hongo-bacteria

Una interacción hongo-bacteria, bacteria-bacteria u hongo-hongo, es aquella relación que existe entre ambos individuos y su ambiente, pudiendo propiciar mayores beneficios, o bien, grandes desventajas. Existen interacciones que son benéficas, tales como el comensalismo, protocooperación y simbiosis (mutualismo) e interacciones que no son tan benéficas como el amensalismo, depredación y parasitismo (Loredo et al., 2004).

Se conocen interacciones tales como la antibiosis que consiste en una interacción de compuestos químicos, lo que involucra la muerte del hospedante o del hospedador. También existen las interacciones basadas en señalización, en esta interacción puede promover la viabilidad de ambas partes, pues uno de los involucrados puede degradar compuestos que el otro no, y así, obtener beneficios (Domínguez, 2018).

En el trabajo de Gordillo (2014), se explica la técnica de interacciones entre hongos patógenos y bacterias, en dicho trabajo, se menciona que las bacterias deben ir separadas por aproximadamente 2 cm de distancia del hongo, como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

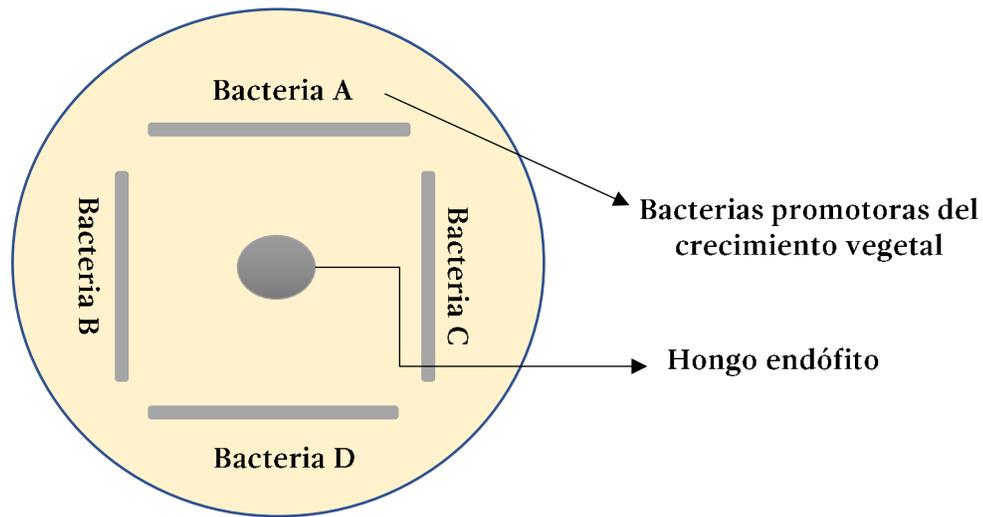


Figura 2.1 Técnica de interacciones hongo-bacteria.

## 2.12 Clasificación de interacciones

### 2.12.1 Comensalismo

El comensalismo es una relación en la que existe una interacción positiva y otra neutra, en este tipo de interacción sólo uno de los involucrados resulta beneficiado, mientras que el otro no es beneficiado ni perjudicado, pero ambos conviven (Sarabia et al., 2010).

### 2.12.2 Protocooperación

La protocooperación es una relación similar a la simbiosis, la diferencia radica en que lleva a cabo una relación facultativa, en esta interacción ambas poblaciones se benefician, aunque no siempre existe una asociación, o bien, si existe relación y esta se pierde en algún momento, es posible que ambos puedan tener alguna otra interacción (Domínguez, 2018).

### 2.12.3 Simbiosis o mutualismo

La simbiosis, es una relación obligada entre dos poblaciones, donde ambas se benefician. Por lo general, en el reino fungi, quienes tienen interacciones mutualistas son las micorrizas y los líquenes. La micorriza está compuesta por un hongo que crece dentro o sobre las raíces de alguna planta (Frey et al., 2011). El hongo se beneficia del fácil acceso a alimentos producidos

por la planta y la planta se beneficia gracias a los micelios que ayudan a absorber agua y nutrientes. Por otro lado, un líquen es un organismo que resulta de una relación de mutualismo entre un hongo y un organismo fotosintético, es decir, un alga o cianobacteria. El hongo crece alrededor de las células de la bacteria o alga y se beneficia por los nutrientes producidos por el organismo fotosintético, el hongo propicia agua y nutrientes que se encuentran lejos de la planta (Wilkin & Brainard, 2015). Autores como Frey (2011) mencionan que las interacciones más íntimas se dan cuando se establece la simbiosis entre diversos microorganismos y que a su vez, la simbiosis puede darse de dos maneras en el caso de los hongos y bacterias. Esta clasificación se divide en ectosimbiótica y endosimbiótica. El término ectosimbiótico se refiere al proceso de simbiosis en el cual las bacterias permanecen fuera de la membrana plasmática del hongo, mientras que, en la endosimbiótica la bacteria se encuentra dentro de la membrana del hongo (Frey et al., 2011).

#### **2.12.4 Amensalismo o antagonismo**

La interacción antagonista se da cuando hay una interacción negativa y otra neutra, se caracteriza por tener involucrada una población microbiana que produce sustancias inhibitorias, es decir, sustancias que pueden producir toxinas que inhiben el crecimiento del otro microorganismo, mejor conocidas como sustancias alelopáticas (Sarabia et al., 2010).

Las rizobacterias pueden suprimir el crecimiento de diversos fitopatógenos en una variedad de maneras, como la competencia de nutrientes y espacio, lo que limita la oferta de hierro disponible a través de la producción de sideróforos, produciendo enzimas líticas y antibiosis. Las *Pseudomonas* fluorescentes son ampliamente reportadas por su amplio espectro antagónico contra fitopatógenos. Algunos antagonistas microbianos aplicados en residuos urbanos y agrícolas han tenido un efecto deletéreo sobre patógenos en las raíces de aguacate y los cítricos (Criollo et al., 2012).

#### **2.12.5 Depredación**

En este tipo de interacción el depredador se alimenta de un organismo, por lo que la presa es quien no sale beneficiada, pues solo es alimento para el predador, por ello, la interacción es relativamente corta (Wilkin & Brainard, 2015).

### **2.12.6 Parasitismo**

El parasitismo no es muy común en microorganismos como los hongos y está poco estudiado, las micorrizas tienen una similitud en cuanto a la interacción de parasitismo, con la diferencia de que la simbiosis por parte de las micorrizas suele ser recíproca entre el hospedero y el hospedante. En el parasitismo la repartición de los beneficios no es regulada. Si bien, en esta interacción, el parásito se caracteriza por mantener contacto con el hospedero durante un largo periodo, pues el parásito se alimenta de este. Además, generalmente el parasitismo no causa la muerte del hospedero. La forma en que algunos hongos parásitos ingresan a su hospedero es por medio de estructuras especiales que penetran las células, o bien, mediante la producción de enzimas que descomponen la pared celular (De la Peña, 2019).

### **2.13 Interacciones asociadas a la planta**

Una interacción hongo-bacteria-planta, bacteria-bacteria-planta u hongo-hongo-planta, se les conoce como simbiosis tripartita. Esto quiere decir que todos los microorganismos que estén asociados a la planta tienen interacción entre sí. Al interactuar entre sí, aumentan las posibilidades de llegar a lugares que antes de la interacción eran imposibles, o bien, limitadas. Tal es el caso, del uso que dan las bacterias a las hifas de los hongos, ya que, pueden utilizar su motilidad flagelar y utilizar las hifas para llegar a ciertas zonas como son las raíces de las plantas, para posteriormente entrar en la rizósfera y/o tejidos vegetales. De igual manera, el consorcio de microorganismos puede generar una biopelícula que ayuda a la planta frente a condiciones adversas (Jambon et al., 2018).

### **2.14 Aplicación de consorcios y sus ventajas**

En la actualidad ha aumentado el interés por las interacciones que existen entre diversos microorganismos que promueven el crecimiento y protección de las plantas, debido a que se sabe que estos grupos tienen un amplio campo de aplicación, además, el mercado y las condiciones ambientales exigen el uso de estas nuevas alternativas (Jambon et al., 2018). Instituciones públicas en todo el mundo han comenzado a capacitar a los agricultores, inculcando el análisis de suelo previo a la fertilización, para así darle un uso adecuado a los agroquímicos existentes sin necesidad de exceder las cantidades recomendadas, además, se ha visto la creciente promoción del campo de los biofertilizantes (Freire, Koch, & Salvador, 2016).

Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal se han utilizado en diversos cultivos, tales como jitomate, guayaba, maíz, arroz, caña de azúcar, pepino, entre otros. Tras ser aplicados a estos cultivos, demostraron tener la capacidad de aumentar el rendimiento y la calidad del fruto (Gordillo, 2014; Pedraza et al., 2010).

Autores mencionan que las interacciones microbianas simbióticas son esenciales para que más de 20,000 especies vegetales logren sobrevivir. Así como, para la creación de aplicaciones biotecnológicas que involucren el uso de plantas, el estudio de estas interacciones benéficas juega un papel importante (Jambon et al., 2018). La fitorremediación es una aplicación que involucra el estudio de la tierra, plantas, así como los microorganismos que habitan en los antes mencionados. Esto es debido a que la interacción de estos microorganismos benéficos aumenta el crecimiento de las plantas, por ende, ayuda con la función de degradar contaminantes (Jambon et al., 2018).

Existen diversos tipos de consorcios, entre estos grupos se encuentran las cianobacterias, las cuales tienen la habilidad de fijar nitrógeno atmosférico, potenciar la producción de metabolitos secundarios, retención de humedad en el suelo y promoción de la captación de nutrientes en las plantas. Las cianobacterias pueden encontrarse en diversos sitios, como en suelos húmedos, troncos muertos y corteza de árboles. Además, las cianobacterias también son usados como bioindicadores de contaminación (Freire et al., 2016).

En el trabajo de Freire (2016) se menciona que los consorcios que utilizaron se obtuvieron de muestras de tapetes microbianos y suelo. Además, hace alusión a la formación de los consorcios de por lo menos una cianobacteria y un microorganismo gram negativo y otros microorganismos no caracterizados. En este estudio se compararon los consorcios versus sustancias químicas que contenían sulfato de potasio, cloruro de potasio, ácido bórico y sulfato de magnesio heptahidratado, sin embargo, los porcentajes de materia seca no se consideraron bajos en cuanto al rendimiento de las pasturas. Los valores más altos de humedad fueron de las muestras tratadas con cianobacterias, obteniendo en promedio entre el 79 y 67% de humedad. Los porcentajes de proteína también fueron mayores en las muestras tratadas con cianobacterias con un 11.74%. En los porcentajes de fibra se obtuvo un 4.08% y en el porcentaje de ceniza (fracción mineral) el fertilizante químico obtuvo mayor porcentaje con un 7.89%. Finalmente,

al usar estos consorcios se tuvieron resultados benéficos, pues superaron en altura, cobertura y longitud radicular al agroquímico utilizado.

Productos líquidos conformados con diversas especies de microorganismos son conocidos como microorganismos eficientes (Criollo et al., 2012). Generalmente los microorganismos eficientes se utilizan en procesos de biorremediación, o bien, en la agricultura como una alternativa para evitar y/o disminuir el uso de agroquímicos. Los microorganismos eficientes están compuestos de 5 grupos, los cuales son: bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas, levaduras, actinomicetes y hongos filamentosos con capacidad fermentativa (Morocho & Leiva 2019). El uso de estos microorganismos eficientes en semilleros ha demostrado resultados positivos en la velocidad y porcentaje de germinación, crecimiento de tallo y raíces. Además del incremento en la probabilidad de supervivencia de plántulas. Y el uso de microorganismos eficientes en plantas demostró que induce la resistencia sistemática a enfermedades (Frey et al., 2011). Al consumir exudados de hojas, raíces, flores y frutos, evitan la propagación de fitopatógenos. Incrementa el crecimiento, calidad y productividad de cultivos y promueve la floración, así como el crecimiento foliar. Los microorganismos eficientes que forman parte de los PGPB favorecen el enraizamiento mediante la producción de compuestos tales como el ácido indol acético, además de la biodisponibilidad de fosfato y potasio (Morocho & Leiva, 2019).

El uso de bioinoculantes a partir de actinomicetos son de gran importancia por sus características degradadoras de materia orgánica y la producción de compuestos antimicrobianos, entre otros. Además, representan entre el 20 y 60% de la población de un suelo fértil. Estudios en los cuales se utilizaron consorcios de actinomicetos aislado de compost demostraron tener la capacidad antagónica frente a microorganismos fitopatógenos como *Solanum tuberosum* spp. *Andigena*. Lo cual indica que con el uso de estos bioinoculantes es posible la reducción de diversos agroquímicos (Pérez et al., 2015).

El uso de consorcios conformados por cepas de géneros como *Pseudomonas* sp y *Pantoea* sp en semillas de “pasto angleton” ha tenido una respuesta positiva, pues en el estudio de Mantilla (2015) obtuvieron un aumento en el número de hojas, área foliar, así como en la longitud de la raíz y del tallo, además, tuvieron mejoras en cuanto a la eficiencia en la solubilización del fosfato (Mantilla & Negrete, 2015).

# CAPÍTULO 3

## METODOLOGÍA

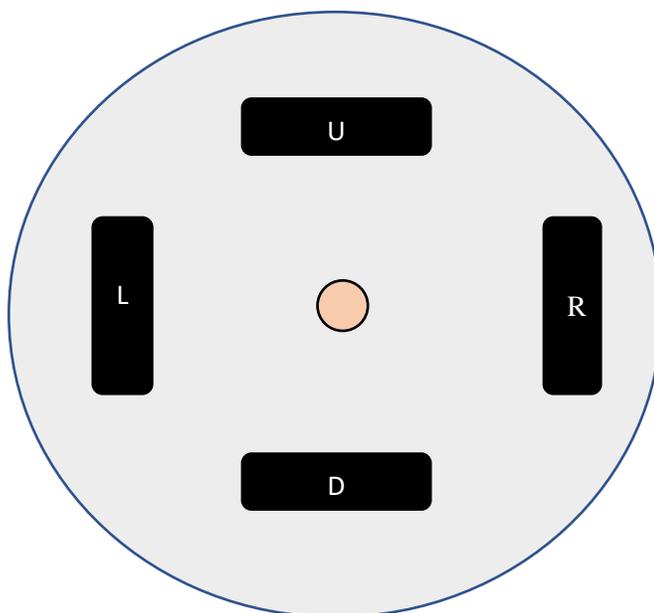
### 3.1 Obtención de las cepas de bacterias y hongos

De colecciones ya existentes de hongos endófitos y de bacterias promotoras del crecimiento vegetal, se generó un duplicado de las 24 cepas de hongos y de 52 cepas bacterianas. La obtención de los duplicados de hongos se hizo mediante el uso de papeles que contenían el inóculo, posteriormente en condiciones estériles los inóculos se colocaron en una caja Petri con medio PDA. Las condiciones de crecimiento para los hongos fueron: temperatura de 28°C durante un periodo de 7 días en una incubadora, evitando el cambio de temperatura y controlando la luz de los alrededores. Finalmente, se almacenaron en un refrigerador a una temperatura de 18°C.

Las bacterias se obtuvieron de una colección ya existente, el inóculo se encontraba contenido en cajas Petri con medio PDA. Para generar las copias de las PGPR se tomó el inóculo y se sembró en un medio dextrosa papa, contenido en cajas Petri estériles. Las condiciones de crecimiento y almacenaje fueron similares a la de los hongos, con la diferencia de que el periodo de crecimiento fue de 1 a 3 días, con una temperatura aproximada de 28°C.

### 3.2 Siembra y condiciones de las interacciones

Se hicieron alrededor de 950 interacciones in vitro, con un duplicado de cada una. Para esto, se preparó medio dextrosa papa (PDA) y posteriormente se vació en cajas Petri estériles. Las cajas con medio PDA se utilizaron para colocar inóculos de hongos y bacterias. Finalmente, se colocó 1 hongo en el centro de la caja y 4 bacterias alrededor de él, como se muestra en la foto 3.1.



**Figura 3.1** Ejemplo de la interacción entre 1 hongo- 4 bacterias

La sigla U indica que se encuentra en la parte superior; D indica que se encuentra en la parte inferior; L indica que se encuentra en la parte izquierda de la caja; R indica la cepa presente en la parte derecha de la caja.

Una vez realizada la siembra de las bacterias y hongos en las cajas preparadas con PDA, fueron selladas con un film plástico y se rotularon, posteriormente se almacenaron en una habitación con poca luz, a una temperatura aproximada de 24 °C en un periodo de tiempo de aproximadamente 8 a 10 días.

### **3.3 Toma de imagen**

Una vez pasado el tiempo de incubación de las interacciones, se realizó el análisis de éstas. Una vez observadas las interacciones obtenidas, se procedió a tomar fotos de las cajas que contenían las interacciones, para esto, se utilizaron dos fondos, un fondo negro y otro blanco. Para tomar las fotos, se utilizó la cámara del celular LG G4 Beat de 14 mega píxeles y la cámara Sony de 32 mega píxeles. Es importante tomar en cuenta el fondo en que las interacciones se colocaran para la toma de imagen, debido a que las diferentes cepas de hongos y bacterias tienen coloraciones diversas, por ello, para facilitar la visualización de las interacciones y proporcionar un análisis certero, se seleccionaron dos fondos (blanco y negro). En el presente trabajo se usaron géneros de hongos *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* y otros hongos que aún no son

caracterizados, estos géneros pueden pigmentar el medio con colores rojo, morado, verde y negro.

# CAPÍTULO 4

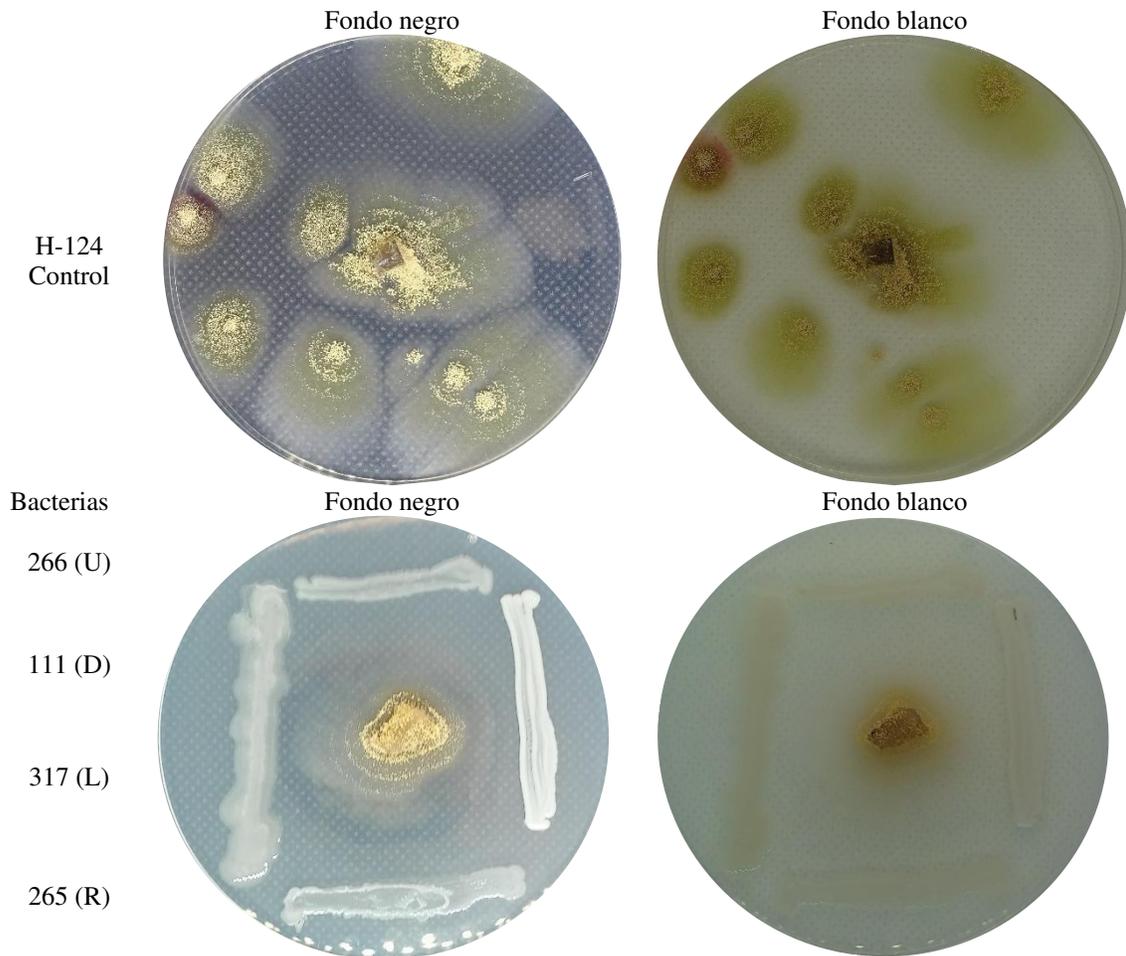
## RESULTADOS

Como se mencionó anteriormente en el capítulo dos, las interacciones se dan por medio de señalizaciones producidas al estar en contacto con ciertos compuestos volátiles o que difunden en el medio. Si bien, se consideró como interacción positiva a la invasión del hongo por medio de esporas o micelios hacia la cepa bacteriana presente en el medio. Es decir, si se permitía el desarrollo del hongo desde el centro de la caja Petri hacia las paredes. En varios casos el hongo logró colonizar diversas partes de la caja Petri, hasta llegar a la bacteria, cubriéndola completa o parcialmente. Por otra parte, en algunos casos la bacteria generó colonias de mayor tamaño evitando la invasión del hongo, lo que se consideró una interacción negativa, debido a que se observó la inhibición de ambos microorganismos. En algunos casos la interacción del hongo se percibe arriba y debajo de la bacteria, con la generación de micelios y/o esporas. Cabe resaltar, que generalmente el micelio se observó con mayor claridad en el fondo negro, mientras que en el fondo blanco fue posible visualizar la esporulación presente en el medio. En las figuras se observan letras U, D, L y R, las cuales indican a que cepa se están refiriendo, es decir, la sigla U indica la cepa en la posición superior, D indica la cepa en la parte inferior, L indica la cepa en la parte izquierda y finalmente, R indica la cepa en la parte derecha de la caja.

### **4.1 *Aspergillus***

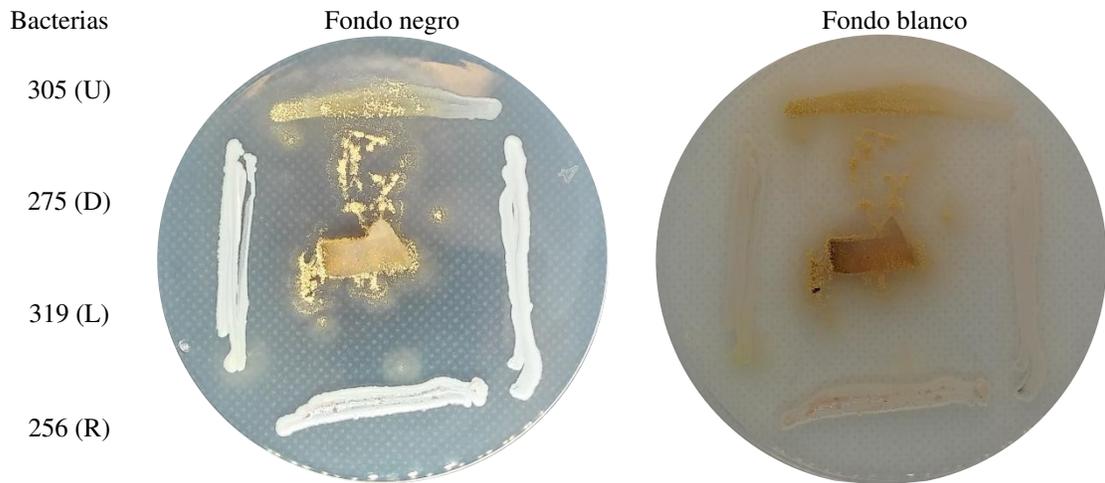
#### **4.1.1 *Aspergillus* H-124**

La figura 4.1 corresponde al control, es decir, se muestra únicamente el crecimiento del hongo H-124, el cual cuenta con una coloración verdosa y pertenece al género *Aspergillus*. Las interacciones con la bacteria 266,111,317 y 265 son consideradas negativas pues no se logra visualizar la invasión por parte del hongo hacia la bacteria. Lo cual indica que existe una relación antagonista entre los microorganismos presentes en la caja Petri.



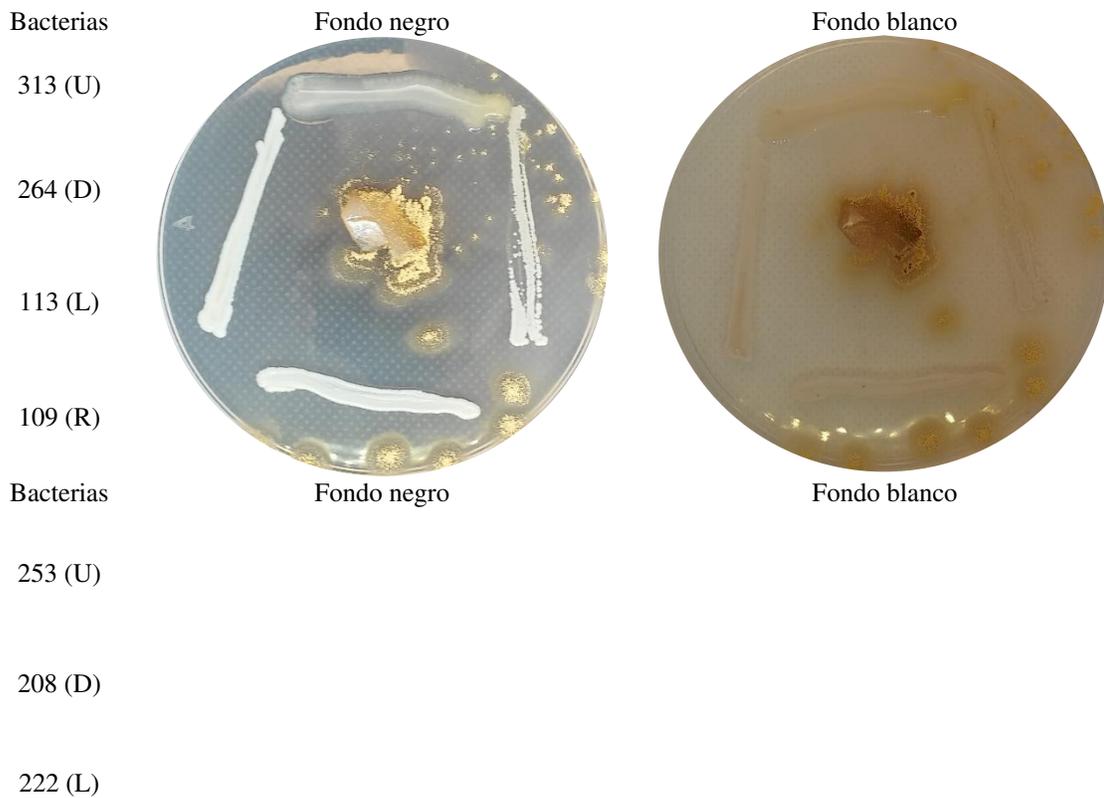
**Figura 4.1 Interacción de las cepas 266, 111, 317 y 265 con el hongo H-124.**

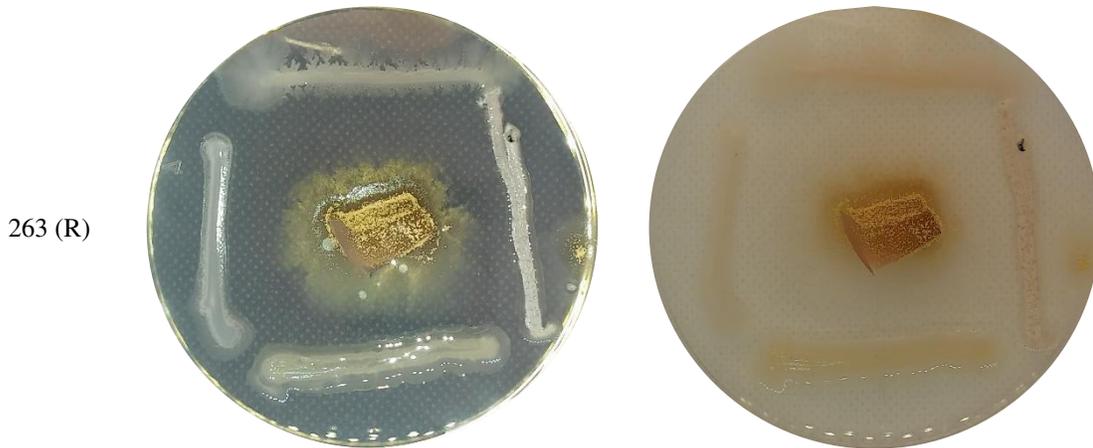
En la figura 4.2, es posible visualizar la interacción positiva de tipo mutualista con la bacteria 305, pues se observa que ambas tienen cierta afinidad, permitiendo el desarrollo y crecimiento de ambas. Por otra parte, las bacterias 275, 319 y 256 no permiten el crecimiento del hongo, por lo tanto, se considera una interacción negativa.



**Figura 4.2 Interacción de las cepas 305, 275, 319 y 256 con el hongo H-124.**

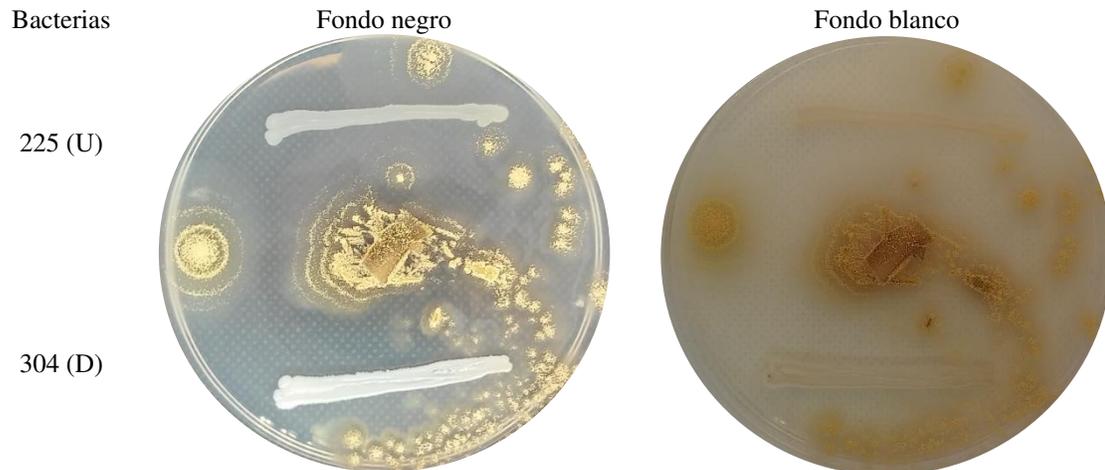
La interacción de las bacterias 313, 264, 113 y 109 así como las bacterias 253, 208, 222 y 263 con el hongo H-124. Demostraron tener una interacción de tipo negativo ya que no hay relación por parte de ninguno de los microorganismos presentes en la caja (Figura 4.3).





**Figura 4.3 Interacción de las cepas 313(-), 264(-), 113(-) y 109(-) y 253(-), 208(-), 222(-) y 263(-) con el hongo *Aspergillus* H-124.**

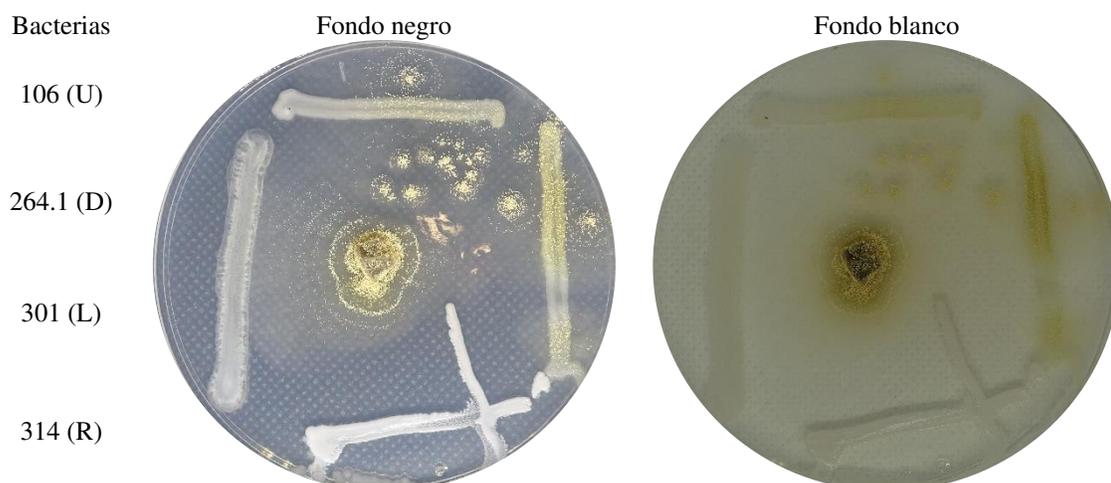
La figura 4.4 nos muestra la cepa bacteriana 225 en la parte superior de la caja y la bacteria 304 en la parte inferior de la caja. La cepa 225 tiene una interacción positiva (+) con el hongo H-124, pues se logra observar la esporulación del hongo en la caja. Por otro lado, la cepa 304 es de tipo antagonista (-), pues detiene el crecimiento del hongo H-124.



**Figura 4.4 Interacción de las cepas 225 (+) y 304 (-) con el hongo *Aspergillus* H-124.**

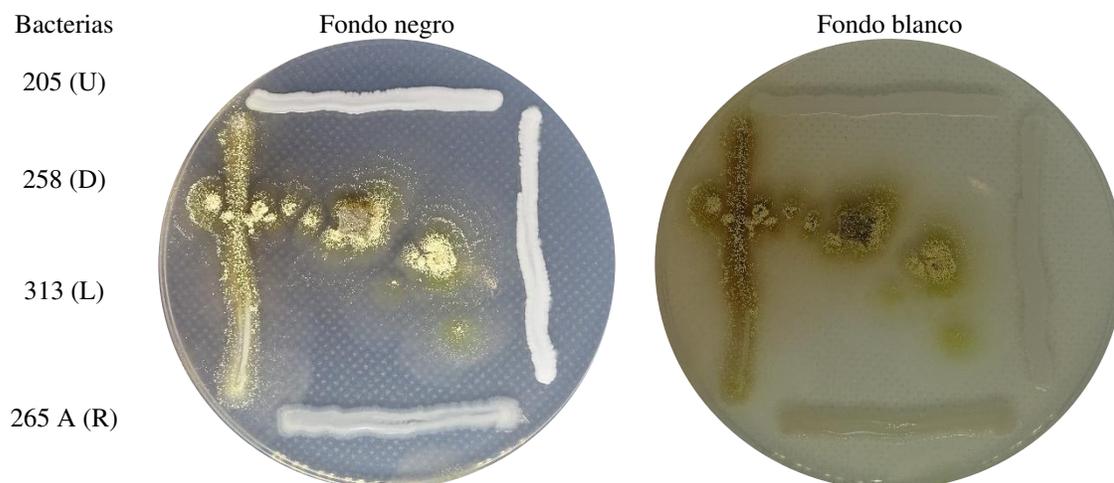
La figura 4.5 nos muestra las cepas 106, 264.1, 301 y 314. La cepa 106 presente en la parte superior de la caja tiene una interacción mutualista, es decir, positiva (+). Mientras que la cepa 264.1 presente en el lado inferior de la caja, tiene una interacción completamente negativa (-). La cepa 301, presente en el lado izquierdo de la caja muestra una interacción negativa, pues

se logra apreciar que detiene el crecimiento del hongo H-124. Y finalmente, la interacción con la cepa 314, ubicada en la parte derecha de la caja, es considerada como positiva (+).



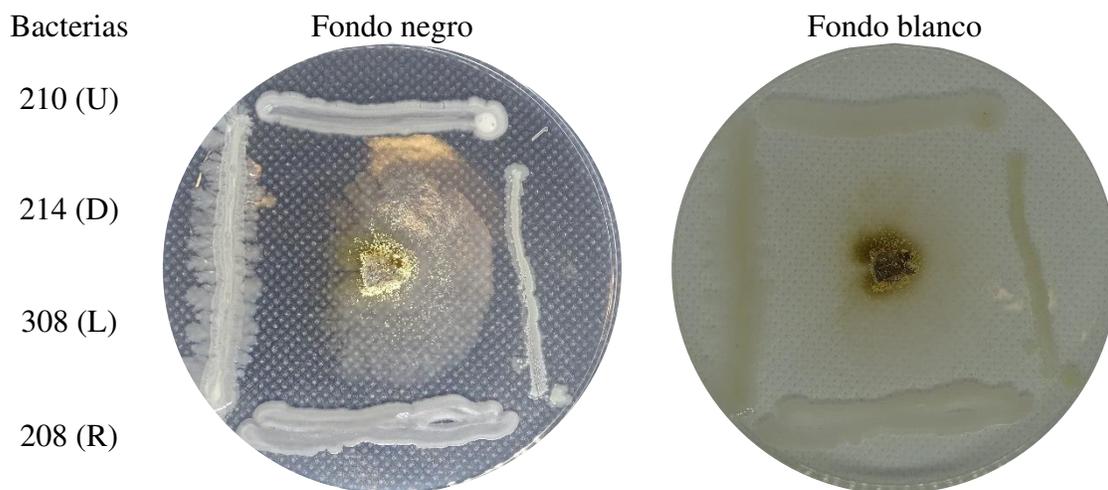
**Figura 4.5 Interacción de las cepas 106(+), 264.1(-), 301(-) y 314(+)** con el hongo *Aspergillus* H-124

La figura 4.6 cuenta con las cepas 205, 258, 313 y 265 A. La cepa 205 ubicada en la parte superior de la caja, muestra una interacción de tipo negativa al no permitir el crecimiento del hongo H-124. La cepa 258 ubicada en la parte inferior de la caja, tienen una interacción negativa. Por otro lado, la cepa 313 (ubicada en la parte izquierda de la caja) demuestra tener una interacción mutualista (+) y finalmente la interacción 265 A (lado derecho de la caja), es una interacción antagonista (-).



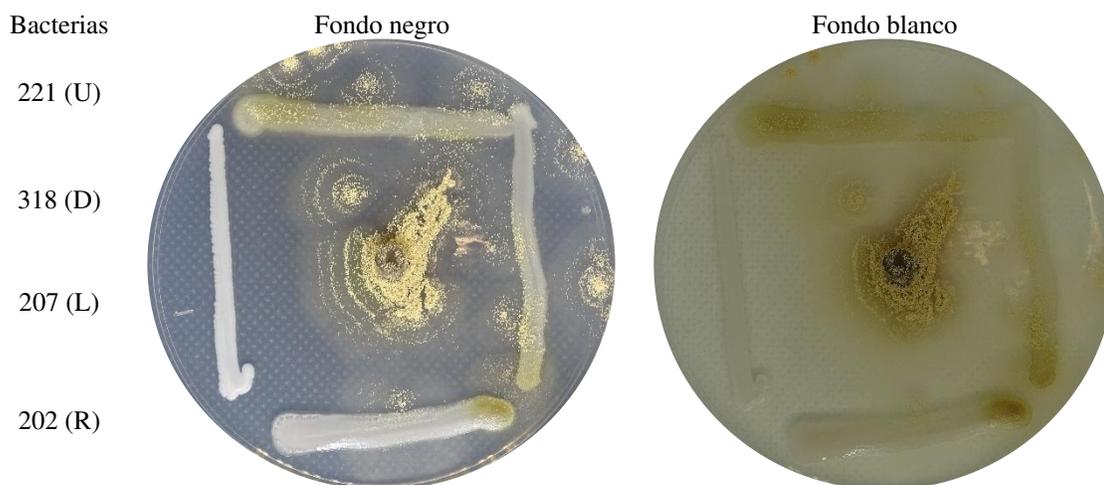
**Figura 4.6 Interacción de las cepas 205(-), 258(-), 313(+)** y 265 A (-) con el hongo *Aspergillus* H-124.

En la figura 4.7 se muestran las cepas 210, 214, 308 y 208. Todas las cepas mencionadas son de tipo antagonista, es decir, negativas, ya que no es posible visualizar el crecimiento del hongo y por lo que se considera que se ve impedida la esporulación por parte de las 4 cepas bacterianas.



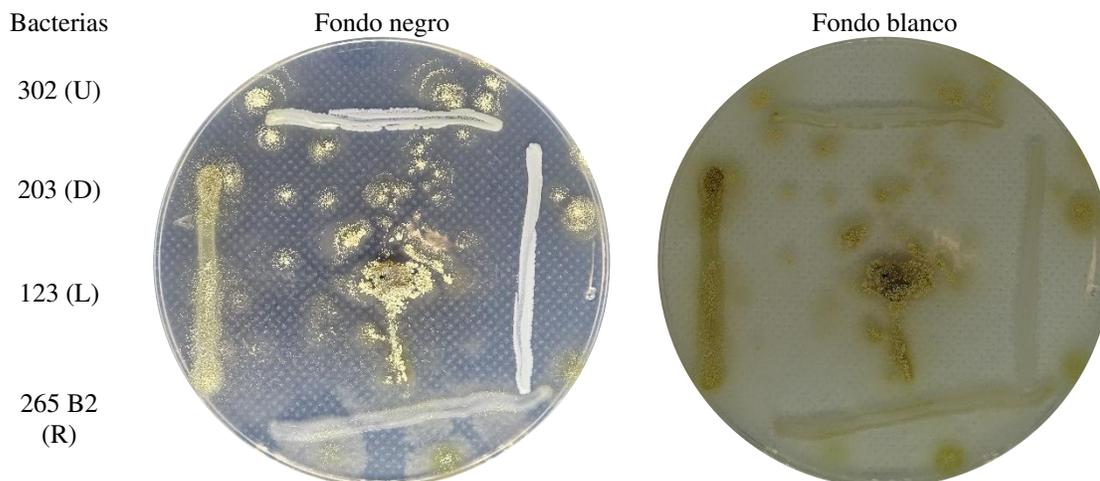
**Figura 4.7 Interacción de las cepas 210(-), 214(-), 308(-) y 208(-) con el hongo *Aspergillus* H-124.**

La figura 4.8 nos muestra las cepas 221, 318, 207 y 202. Las cepas 221 (presente en la parte superior de la caja), 318 (presente en la parte inferior de la caja) y 202 (presente en el lado derecho de la caja) son de tipo mutualista (+). Mientras que la cepa 207 es de tipo antagonista (-).



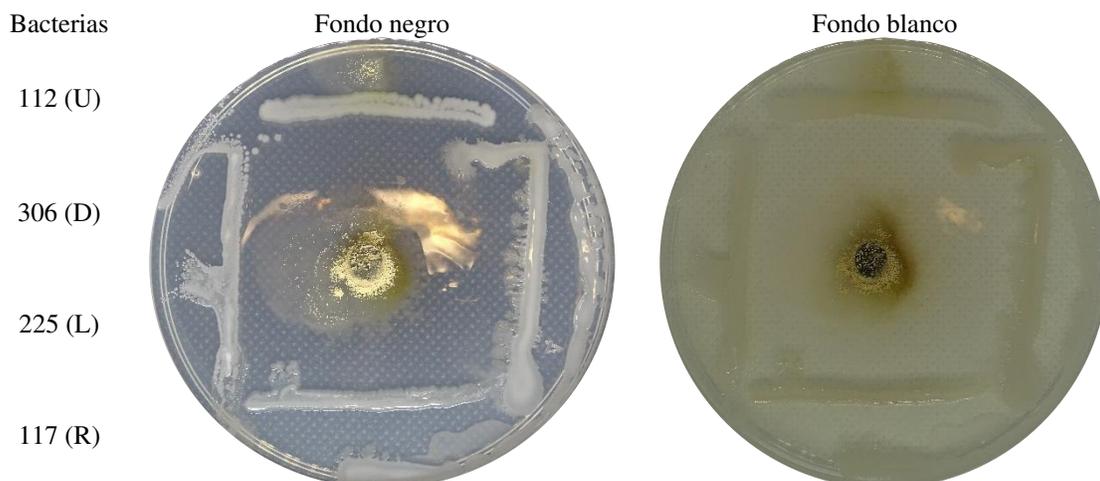
**Figura 4.8 Interacción de las cepas 221(+), 318(+), 207(+), y 202 (+) con el hongo *Aspergillus* H-124.**

Las interacciones presentes en la figura 4.9 se hicieron mediante el uso de las cepas 302(ubicada en la parte superior de la caja), 203 (parte inferior), 123(lado izquierdo) y 265 B2(parte derecha de la caja). La cepa 123 tuvo una interacción positiva con el hongo H-124, logrando colonizar la bacteria tanto de forma superficial como interior (entre la bacteria y el medio), mientras que las cepas 302, 203 y 265 B2 tienen interacciones antagonistas (-).



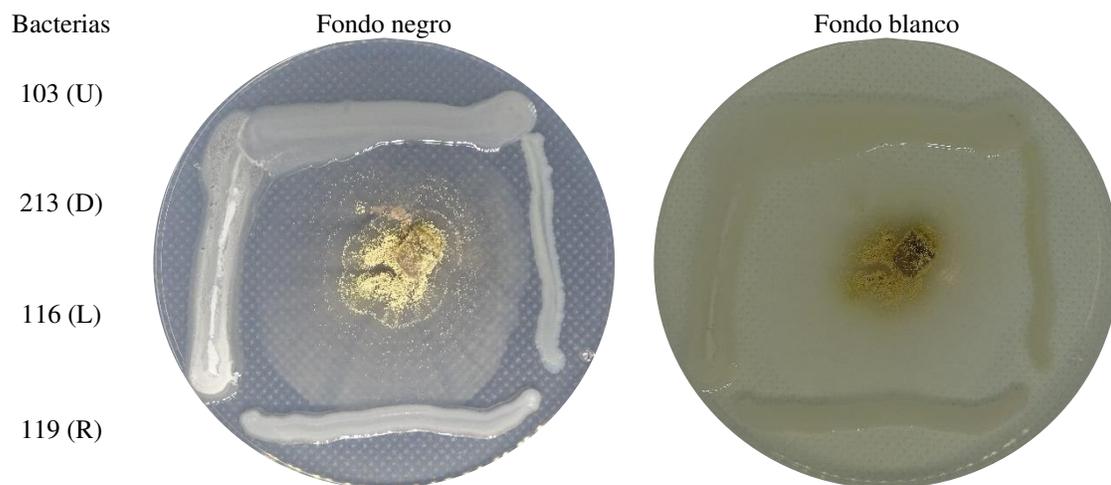
**Figura 4.9 Interacción de las cepas 302(-), 203(-), 123(+) y 265B2(-) con el hongo *Aspergillus* H-124.**

Las interacciones de la figura 4.10, se hicieron con las cepas 112, 306, 225 y 117. Las cuatro cepas bacterianas, demostraron tener una interacción de tipo antagonista al impedir el crecimiento del hongo H-124. Cabe resaltar el comportamiento de las bacterias al lograr desplazarse en ciertas partes de la caja.



**Figura 4.10 Interacción de las cepas 112(-), 306(-), 225(-) y 117(-) con el hongo *Aspergillus* H-124.**

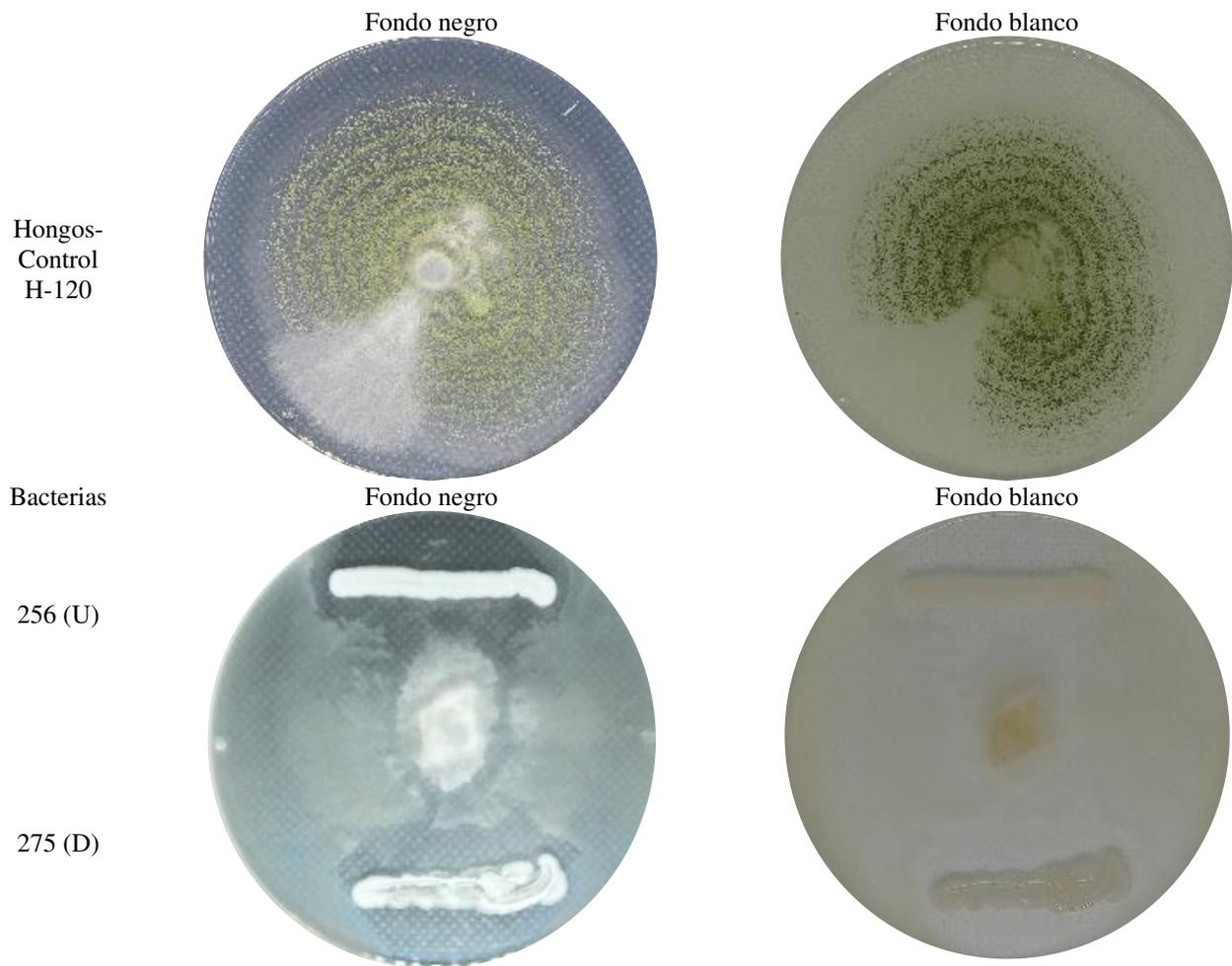
Las interacciones en la figura 4.11 son de tipo antagonista, las cepas bacterianas utilizadas fueron 103, 213, 116 y 119. Las cuatro cepas permitieron que el halo del hongo se acercara a ellas, sin embargo, al contacto logran detener el crecimiento del hongo H-124.



**Figura 4.11 Interacción de las cepas 103(-), 213(-), 116(-) y 119(-) con el hongo *Aspergillus* H-124.**

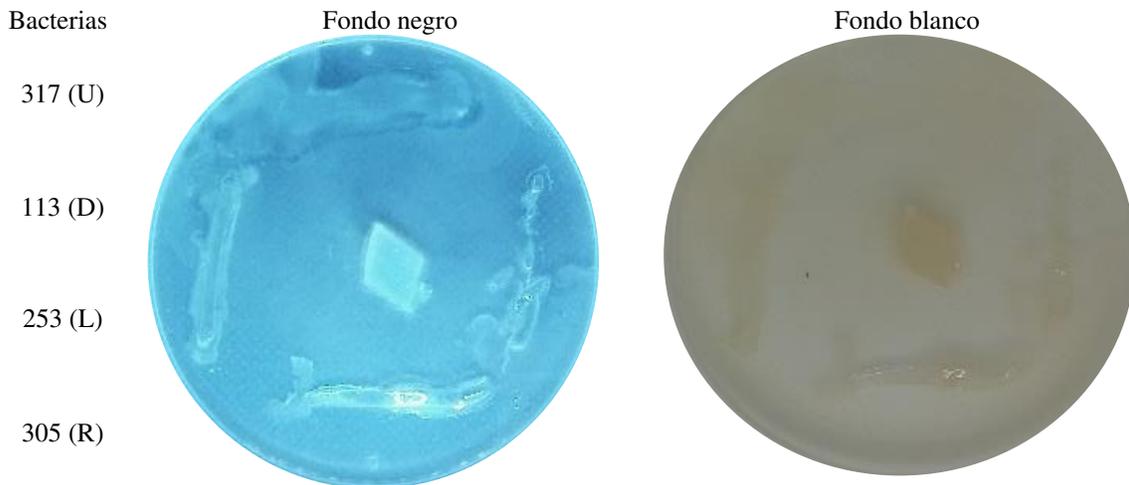
#### **4.1.2 *Aspergillus* H-120**

El hongo *Aspergillus* H-120 es un hongo de coloración verdosa con cierta esporulación blanca, en el control generó un halo que se expandió desde el centro hacia las orillas de la caja. En la figura 4.12 es posible visualizar el control (H-120) en medio PDA en los dos fondos (blanco y negro). También se visualizan las interacciones de las cepas bacterianas 256 y 275, con el hongo ya mencionado. Ambas cepas de bacterias demostraron tener una interacción de tipo negativa, pues el crecimiento del hongo se ve interrumpido.



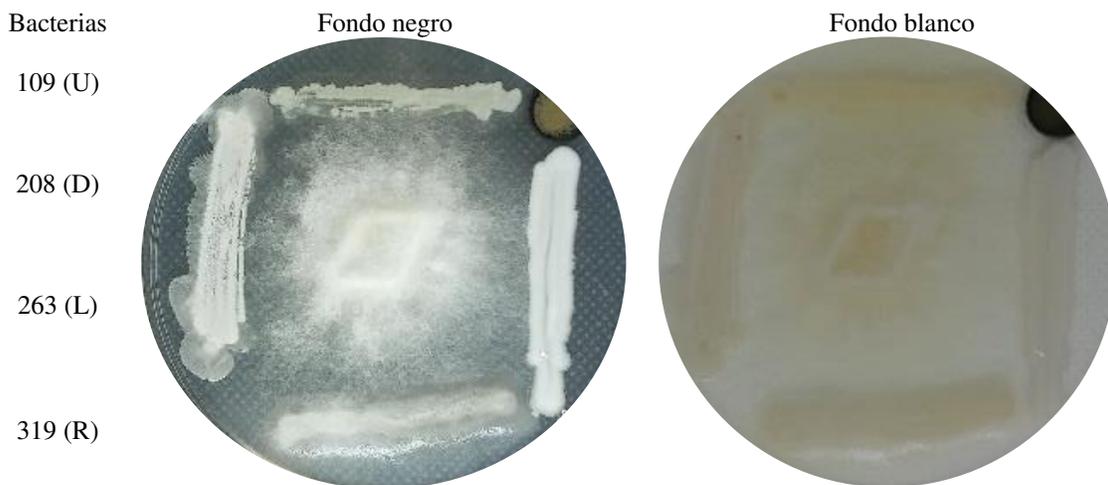
**Figura 4.12 Control de Hongo H-120 e interacción de cepas 256 y 275 con el hongo *Aspergillus* H-120.**

Las bacterias 317, 113, 253 y 305, interaccionaron con el hongo H-120, demostrando tener una interacción de tipo mutualista, pues es posible visualizar la asociación positiva que tuvieron en el medio PDA (figura 4.13).



**Figura 4.13 Interacción de las cepas 317, 113, 253 y 305 con el hongo *Aspergillus* H-120.**

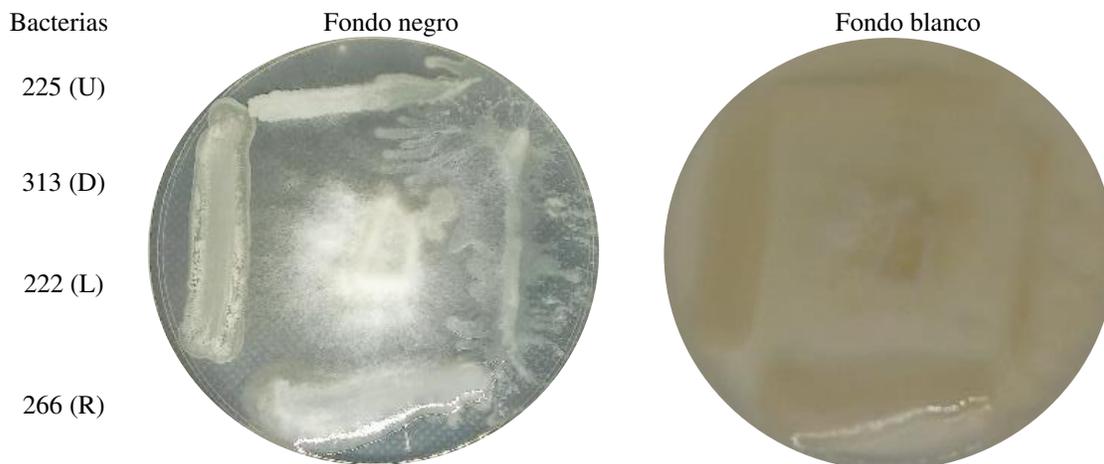
Las bacterias presentes en la figura 4.15, son 109, 208, 263 y 319. Las interacciones de las bacterias 109(-), 263(-) y 319(-) son negativas de tipo antagonista. Por otro lado, la bacteria 208(+) es positiva, de tipo mutualista. El hongo H-120 en contacto con estas cepas, produjo una esporulación de color blanco, mostrando principalmente una interacción negativa con el grupo de bacterias con quienes interactuó.



**Figura 4.14 Interacción de las bacterias 109, 208, 263 y 319 con el hongo *Aspergillus* H-120.**

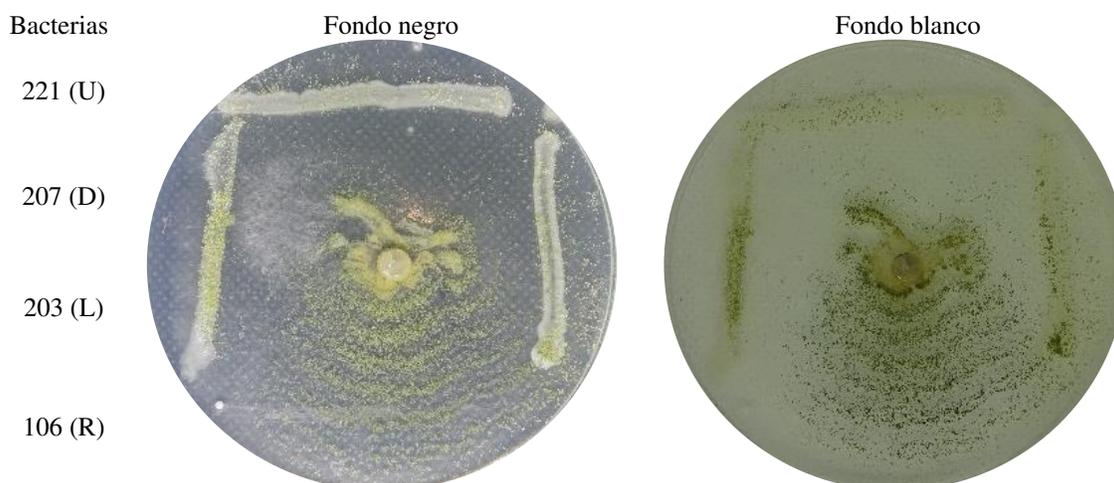
Las interacciones con las cepas 225, 313, 222 y 266, mostraron una respuesta mayormente positiva, sin embargo, la cepa 313 ubicada en la parte inferior de la caja demuestra

tener una interacción negativa. El hongo presentó una coloración blanca al contacto con estas cepas (figura 4.15).



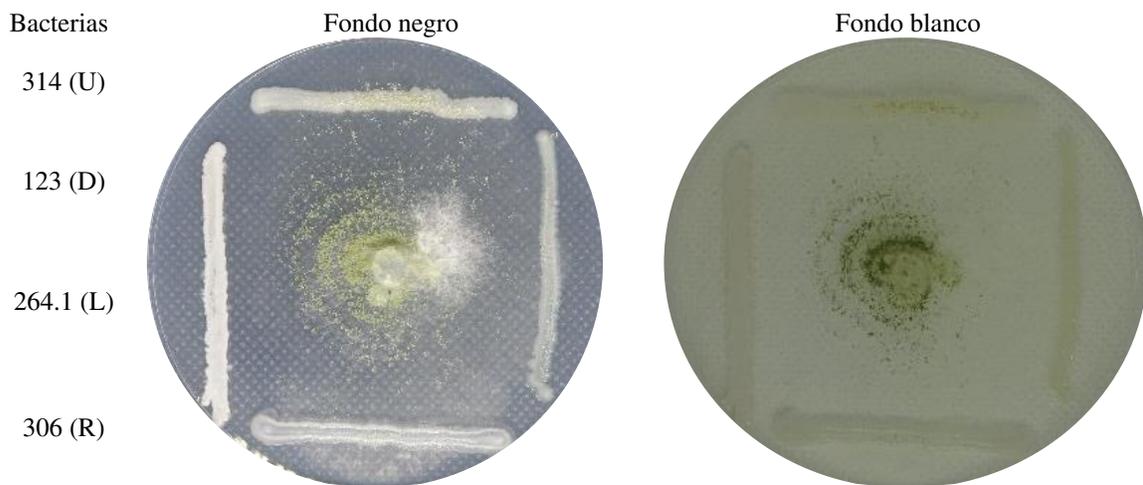
**Figura 4.15** Interacción de las cepas 225, 313, 222 y 266 con el hongo *Aspergillus* H-120.

Las bacterias presentes en la figura 4.16, al interactuar con el hongo H-120, mostraron una total aceptación por parte de las cepas 221, 207, 203 y 106. Ya que, las 4 cepas tuvieron una interacción de tipo mutualista, en especial la cepa 207, quien permitió el crecimiento del hongo en forma de ondas con una coloración verdosa. Por otro lado, la cepa 203 mantuvo una interacción positiva, pero la coloración del hongo fue blanca, con esporulaciones verdosas.



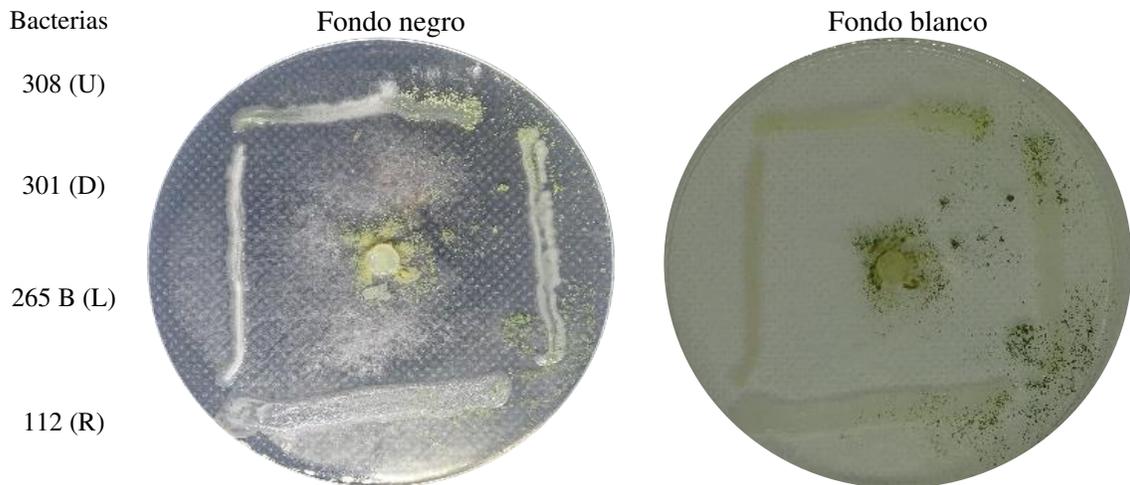
**Figura 4.16** Interacción de las cepas 221, 207, 203 y 106 con el hongo *Aspergillus* H-120.

En la figura 4.17 es posible ver la interacción positiva por parte de las cepas 314, 123 y 306. La cepa del hongo logra generar halos a lo largo de la caja, la coloración es de color verde, así como de color blanco únicamente en el centro. La esporulación es visible en las bacterias 123 y 306. En la cepa 264.1 se tiene una interacción de tipo antagonista, pues no se permite que siga aumentando la esporulación del hongo hacia la bacteria. En el caso de la cepa 306, la invasión del hongo no presenta coloración verde, como en el caso de las otras dos cepas, sino que se ve el crecimiento blanquecino del micelio.



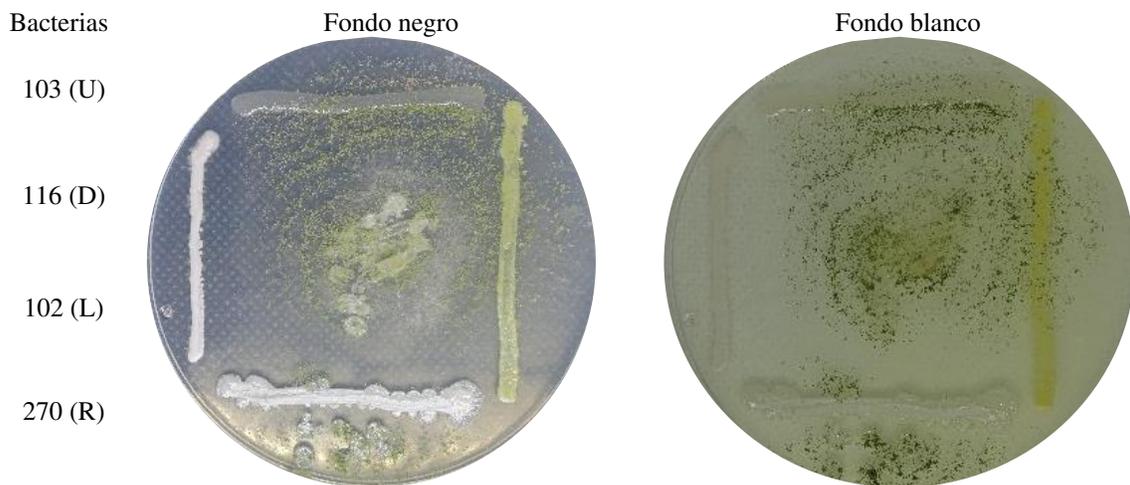
**Figura 4.17. Interacción de las cepas 314, 123, 264.1 y 306 con el hongo *Aspergillus* H-120.**

Las interacciones 308, 301, 265 B y 112 tuvieron una respuesta positiva, pues se observa una interacción de tipo mutualista. La esporulación del hongo solo estuvo presente en las bacterias 307, 301 y 112. Sin embargo, en la cepa 265 B la interacción positiva se observa por el crecimiento del micelio (de coloración blanca) debajo y arriba de la bacteria (figura 4.18).



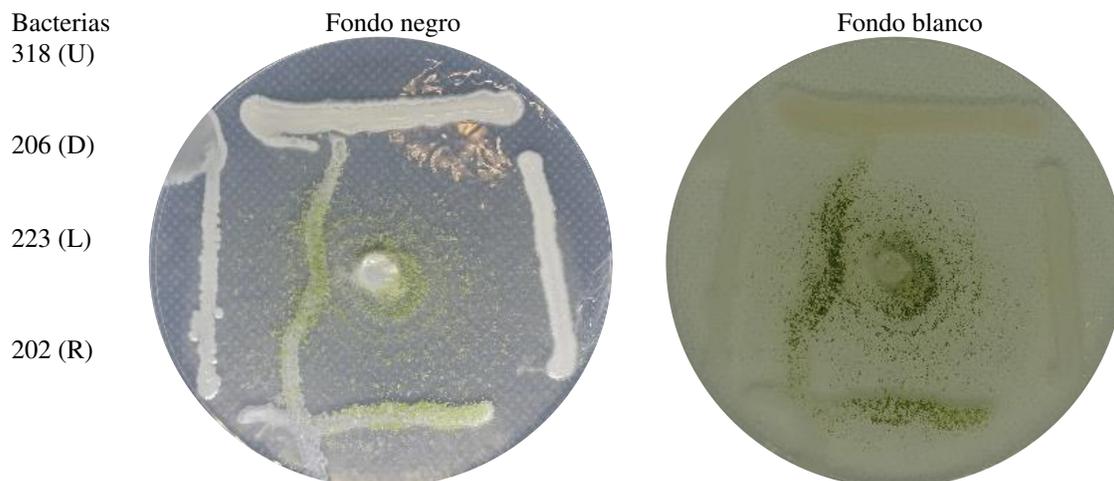
**Figura 4.18** Interacción de las cepas 308, 301, 265 B y 112 con el hongo *Aspergillus* H-120.

Las interacciones de las cepas bacterianas 103, 116, 102 y 270, presentaron diversas respuestas. La cepa 103 tiene una interacción de tipo mutualista, la esporulación invade por completo a la cepa, permitiendo que el halo crezca hacia la orilla de la caja. Por otro lado, la bacteria 102 muestra una respuesta similar a la cepa 103, sin embargo, esta última presenta un cambio en la coloración, pues es visiblemente amarilla. Por último, las cepas 116 y 270 presentaron una interacción negativa (figura 4.19).



**Figura 4.19** Interacción de las cepas 103, 116, 102 y 270 con el hongo *Aspergillus* H-120.

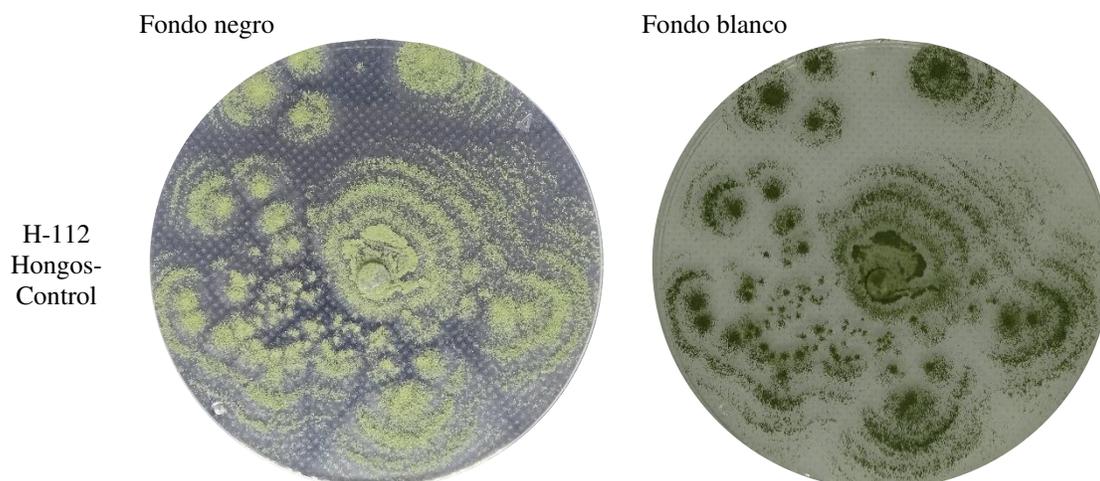
Las interacciones de la figura 4.20 son principalmente de tipo mutualista, con excepción de la cepa 318. La cepa 206 está invadida por las esporas del hongo y se considera una interacción positiva. En el caso de las cepas 223 y 202 se observa el crecimiento del micelio debajo y encima de estas, por ello se considera que son interacciones de tipo mutualista. Finalmente, la cepa 318 muestra claramente una interacción negativa.

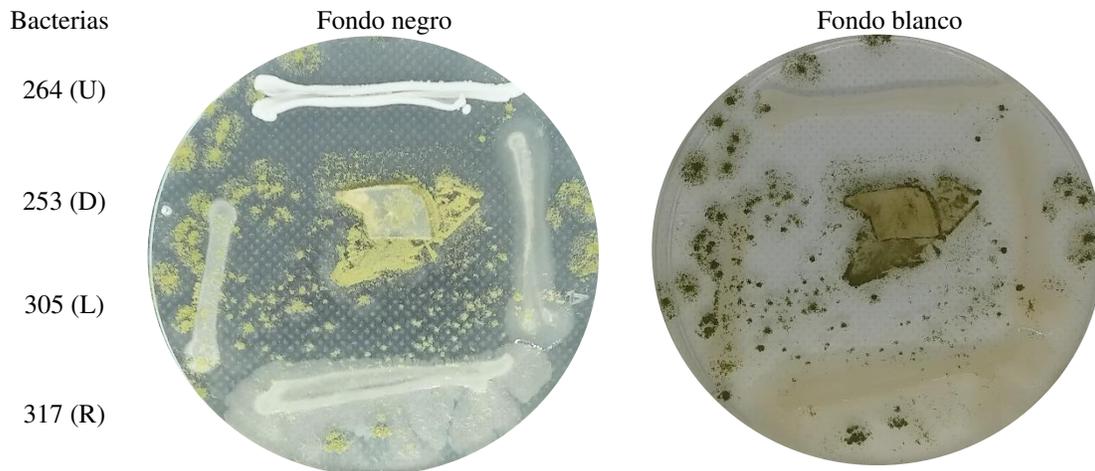


**Figura 4.20. Interacción de las cepas 318, 206, 223 y 202 con el hongo *Aspergillus* H-120.**

### 4.1.3 *Aspergillus* H-112

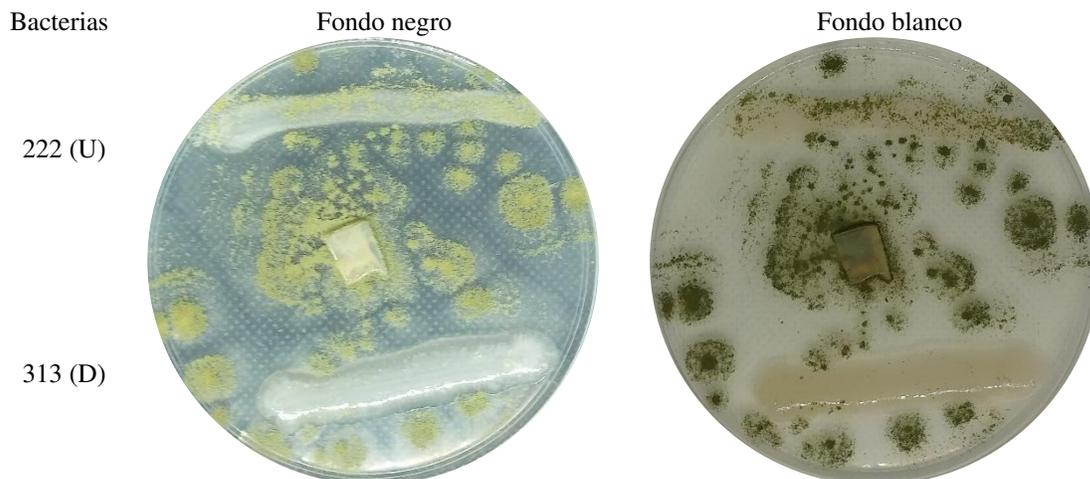
El hongo *Aspergillus* H-112 en el control generó esporulaciones de color verde en forma de ondas. Las cepas 264, 253, 305 y 317, principalmente tuvieron interacciones de tipo negativo, con excepción de la cepa 305, quien permitió la esporulación del hongo, por lo que se intuye, la interacción es positiva de tipo mutualista (figura 4.21).





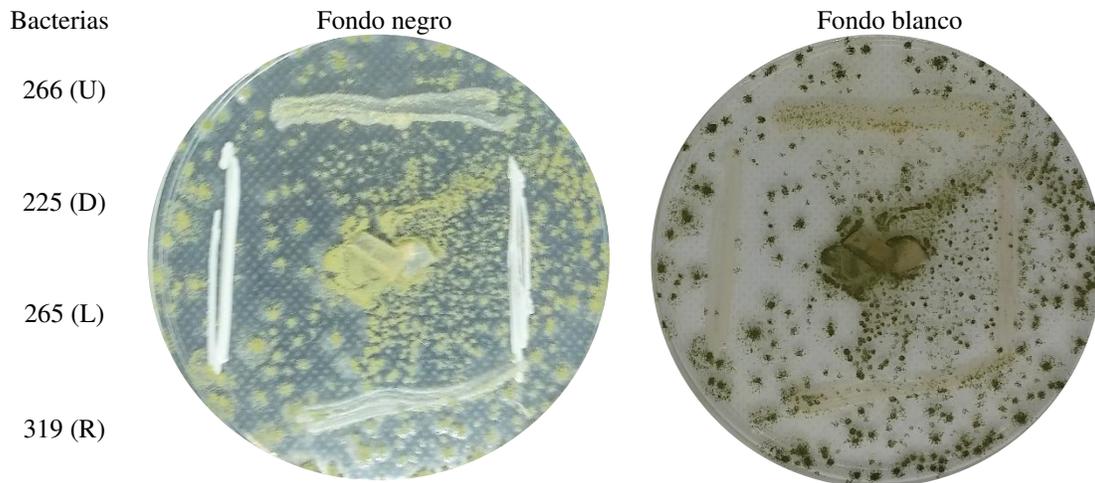
**Figura 4.21. Control de Hongo H-112 e interacción de cepas 264(-), 253(-), 305(+) y 317(-) con el hongo *Aspergillus* H-112.**

La cepa 222 tuvo una interacción de tipo positiva, el hongo H-112 generó esporulación de color verde encima de la cepa bacteriana 222. Por otro lado, la cepa 313 tuvo una interacción negativa debido a que no permitió el crecimiento del micelio y la esporulación se mantuvo alrededor de la cepa 313 (figura 4.22).



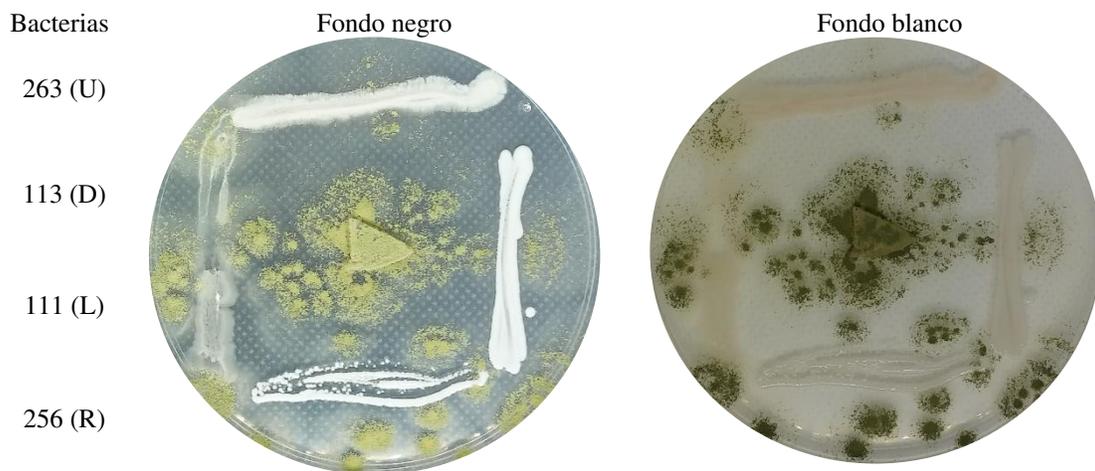
**Figura 4.22 Interacción de las cepas 222 y 313 con el hongo *Aspergillus* H-112.**

La figura 4.23 muestra las cepas 266, 225, 265 y 319 tuvieron diversas respuestas ante el hongo 112. Las cepas 266 y 225 tuvieron una interacción de tipo mutualista, pues se observa que el hongo logró esporular. Por otro lado, las cepas 265 y 319 son de tipo negativo, pese a que se generó esporulación alrededor de ellas, no se observa invasión.



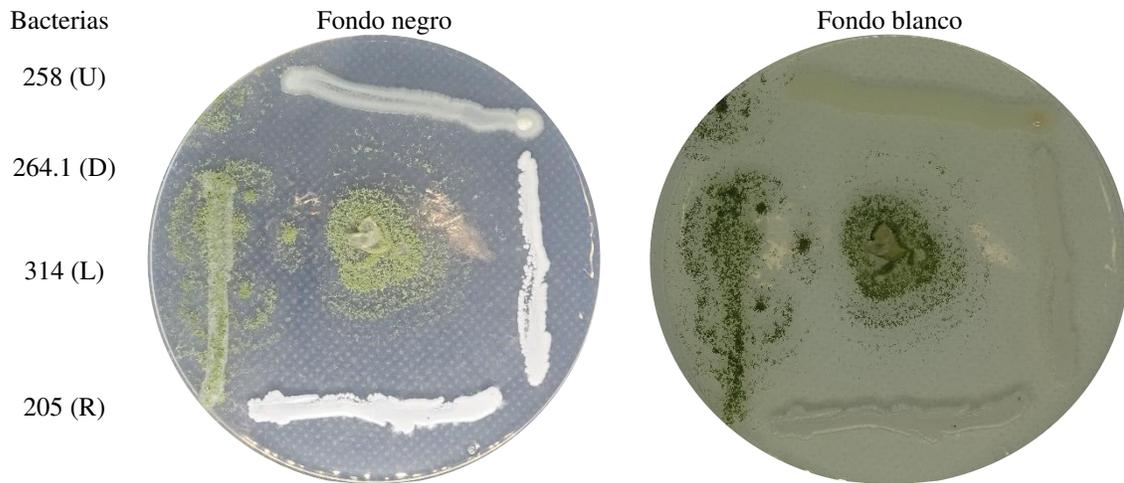
**Figura 4.23 Interacción de las cepas 266, 225, 265 y 319 con el hongo *Aspergillus* H-112.**

Las cepas 263, 113, 111 y 256 tuvieron interacciones positivas a excepción de la cepa 113. La cepa 111 permitió la esporulación del hongo, por otro lado, la interacción 256 y 263 tienen interacción positiva, pero la esporulación no es tan notoria, pues la interacción se da por debajo del medio y encima es posible observar una cantidad específica de esporas. Estas interacciones son más fáciles de apreciar en el fondo negro. En el fondo blanco se observan las esporas presentes en el medio (figura 4.24).



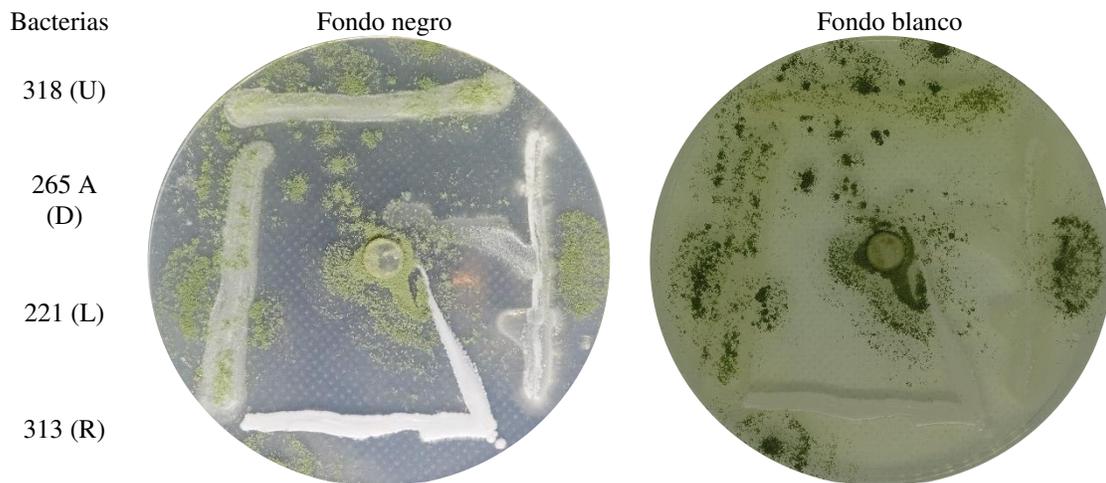
**Figura 4.24 Interacción de las cepas 263, 113, 111 y 256 con el hongo *Aspergillus* H-112.**

Las cepas 258, 264.1 y 205 son interacciones negativas, ya que se observa la inhibición hacia el hongo H-112. Por otro lado, la interacción 314 muestra una clara interacción mutualista y es posible observar el anillo verde del hongo sobre la cepa (figura 4.25).



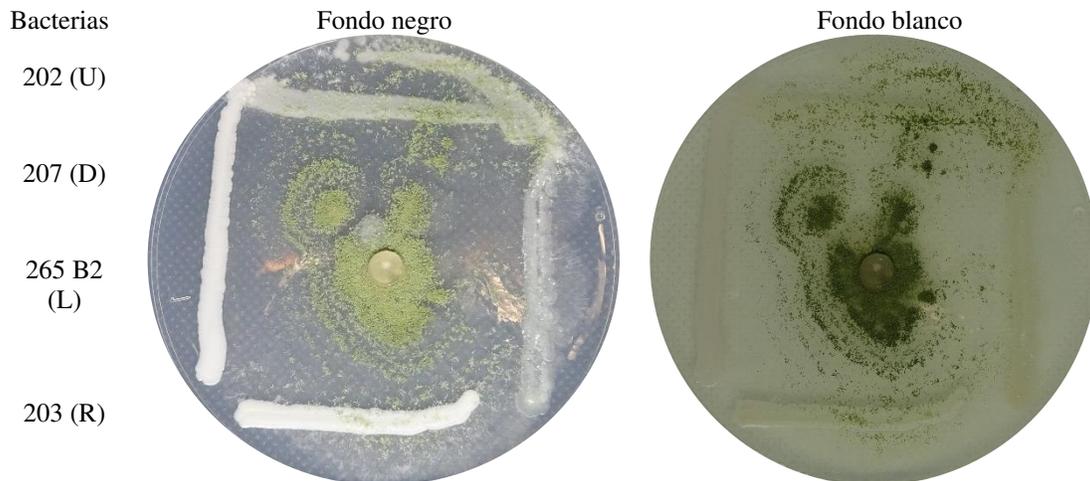
**Figura 4.25 Interacción de las cepas 258, 264.1, 314 y 205 con el hongo *Aspergillus* H-112.**

Las cepas 318 y 221 son interacciones positivas ya que es posible observar la esporulación del hongo sobre las cepas. Por otro lado, las cepas 265 A y 313 son interacciones negativas, en el caso de la cepa 265 A se observa inhibición hacia el hongo. Y la cepa 313 tiene una interacción negativa de tipo antagonista (Figura 4.26).



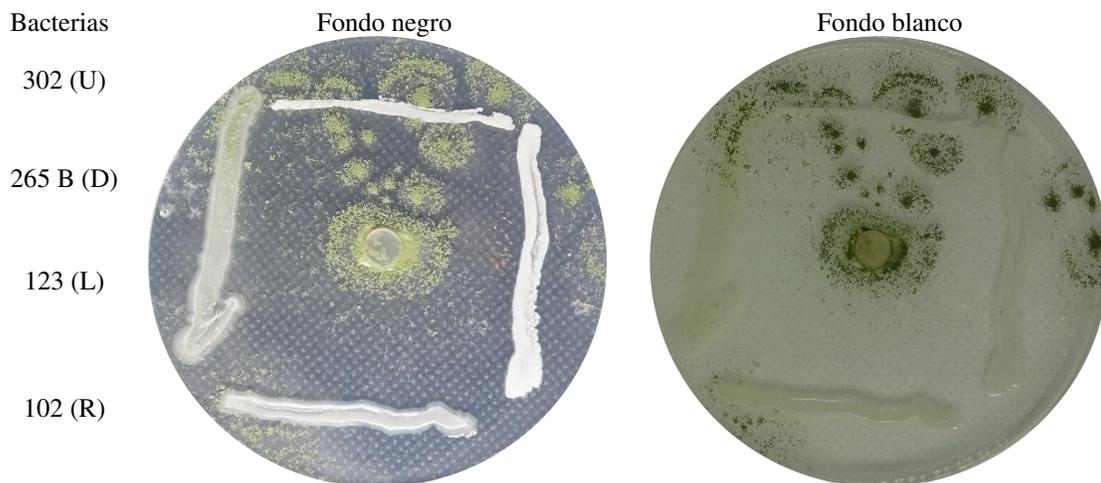
**Figura 4.26 Interacción de las cepas 318, 265 A, 221 y 313 con el hongo *Aspergillus* H-112.**

Las interacciones con la cepa 202 y 207 tienen una respuesta positiva hacia el hongo H-112, inclusive es posible observar el anillo que se dispersa desde el centro hacía las cepas, con una esporulación de coloración verde que las invade. Por otro lado, las cepas 265 B2 y 203 tienen una interacción negativa. La inhibición por parte de la cepa 265 B2 es evidente y el comportamiento antagonista de 203 también se puede apreciar en la Figura 4.27, especialmente en el fondo blanco.



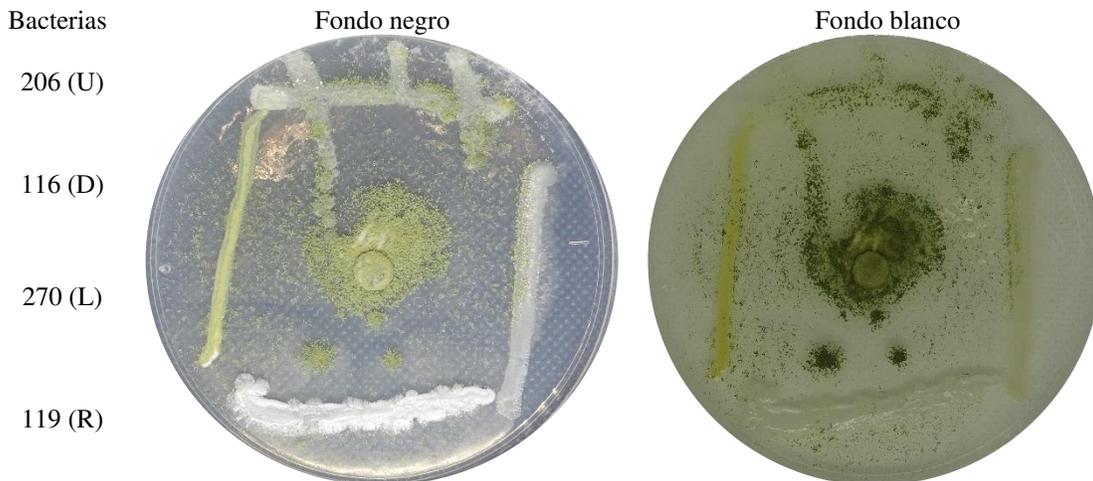
**Figura 4.27 Interacción de las cepas 202, 207, 265 B2 y 203 con el hongo *Aspergillus* H-112.**

Las cepas 302 y 123 presentan interacción positiva (como se muestra en la Figura 4.28), en el fondo negro es posible observar la esporulación por parte del hongo, por otro lado, en el fondo blanco se percibe los anillos que se formaron en la cepa 302. Las interacciones negativas estuvieron presentes con las cepas 265 B y 102, en ambos fondos se observa la inhibición de las esporas.



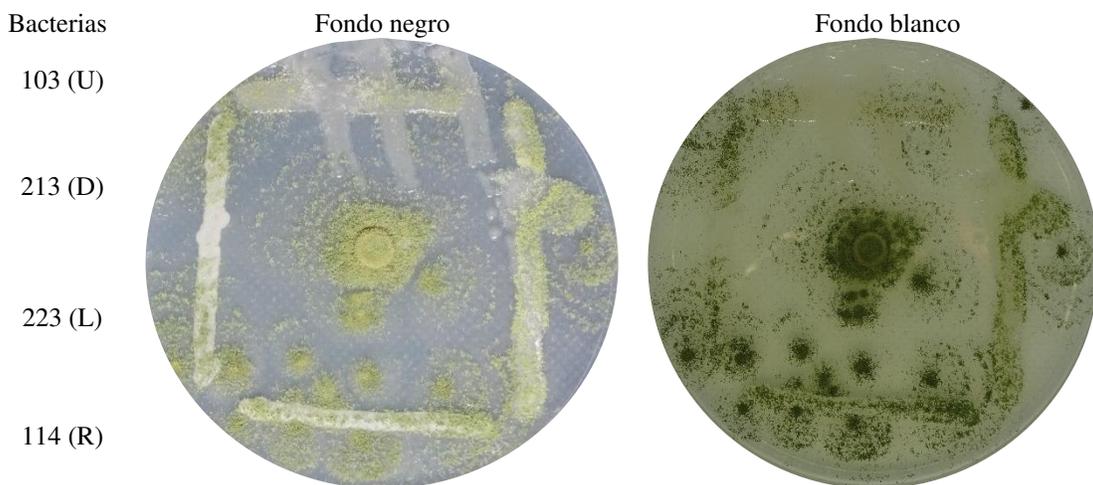
**Figura 4.28 Interacción de las cepas 302, 265 B, 123 y 102 con el hongo *Aspergillus* H-112.**

Las cepas 206, 116, 270 tuvieron una respuesta positiva en la interacción con el hongo *Aspergillus* H-112. En el fondo negro es posible observar el crecimiento de las hifas, por otro lado, en el fondo blanco se observa la esporulación del hongo en las cepas. Así como el crecimiento del anillo a lo ancho del medio. Finalmente, la cepa 119 tuvo una interacción negativa, pese a que interactúan, el hongo es inhibido (figura 4.29).



**Figura 4.29 Interacción de las cepas 206, 116, 270 y 119 con el hongo *Aspergillus* H-112.**

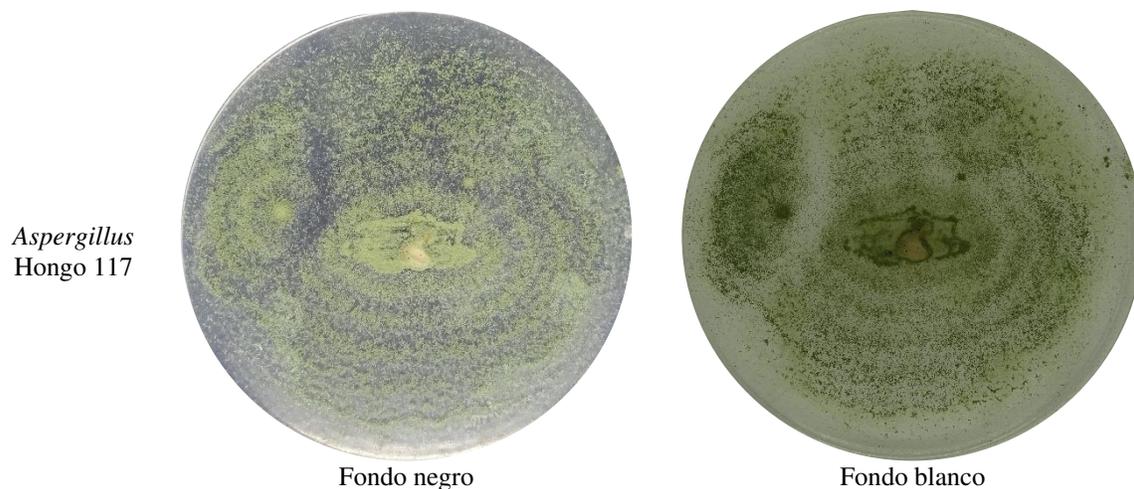
Las cepas 103, 213, 223 y 114 tienen interacciones positivas. En el fondo blanco es más visible la esporulación del hongo H-112 en el medio (figura 4.30).



**Figura 4.30. Interacción de las cepas 103, 213, 223 y 114 con el hongo *Aspergillus* H-112.**

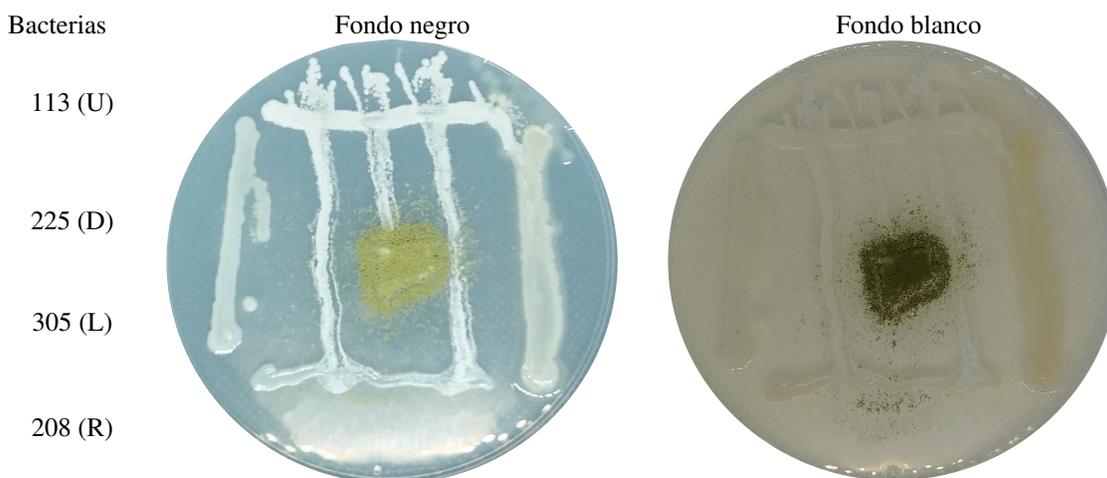
#### **4.1.4 *Aspergillus* H-117**

*Aspergillus* H-117 es un hongo con coloración verde que forma anillos a lo ancho del medio PDA en el que creció satisfactoriamente como se observa en la figura 4.31. Además, en dicha figura es posible observar la esporulación del medio, así como el crecimiento del micelio.



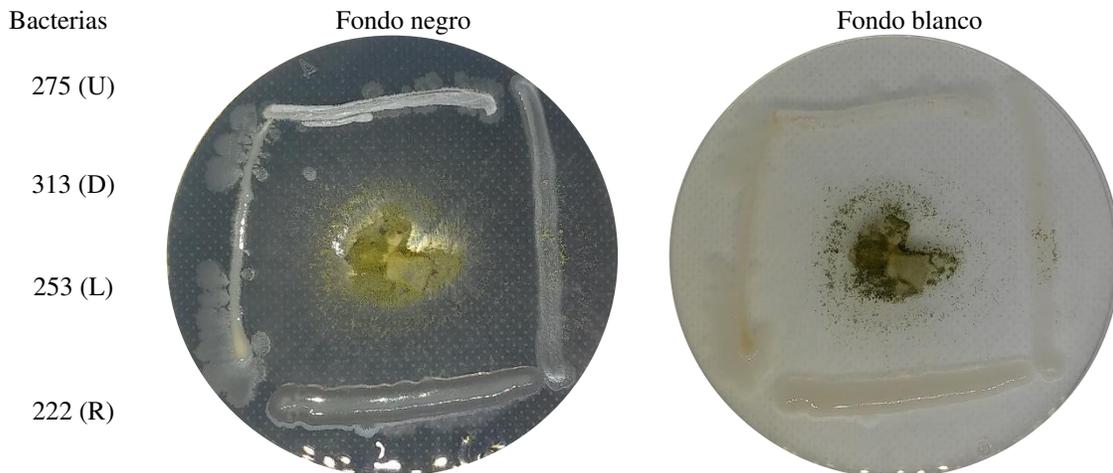
**Figura 4.31 Control de Hongo *Aspergillus* H-117.**

En las cepas 113, 225, 305 y 208 se observa claramente la inhibición del hongo, a excepción de la cepa 225 que es de tipo mutualista. En las cepas 113, 305 y 208 son interacciones negativas.



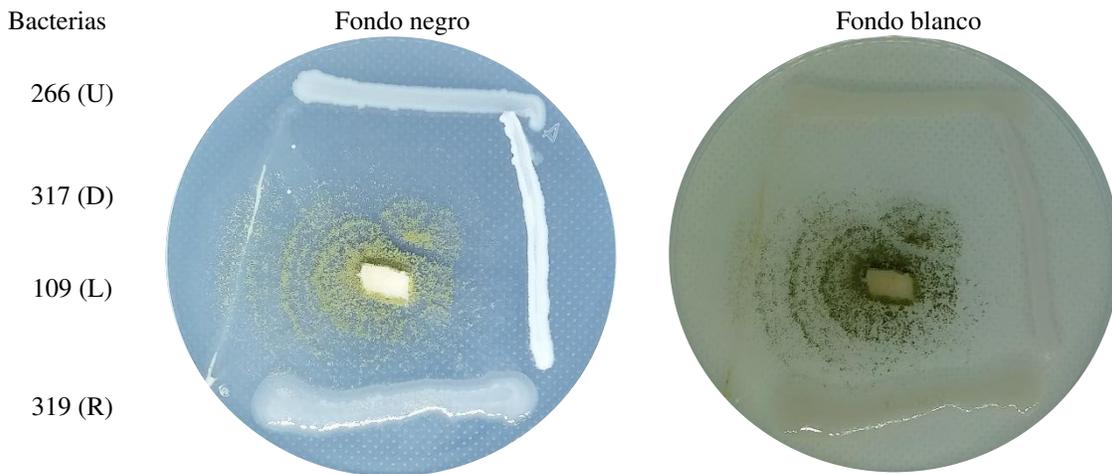
**Figura 4.32 Interacción de cepas 113, 225, 305 y 208 con el hongo *Aspergillus* H-117.**

Las interacciones con las cepas 275, 313, 253 y 222 tuvieron respuesta principalmente negativa, en ambos fondos se observa el crecimiento de las bacterias, lo cual involucra la inhibición del hongo, con excepción de la cepa 222 que tuvo un comportamiento mutualista. En el fondo blanco es posible distinguir como el anillo del hongo logra invadir la cepa 222 (Figura 4.33).



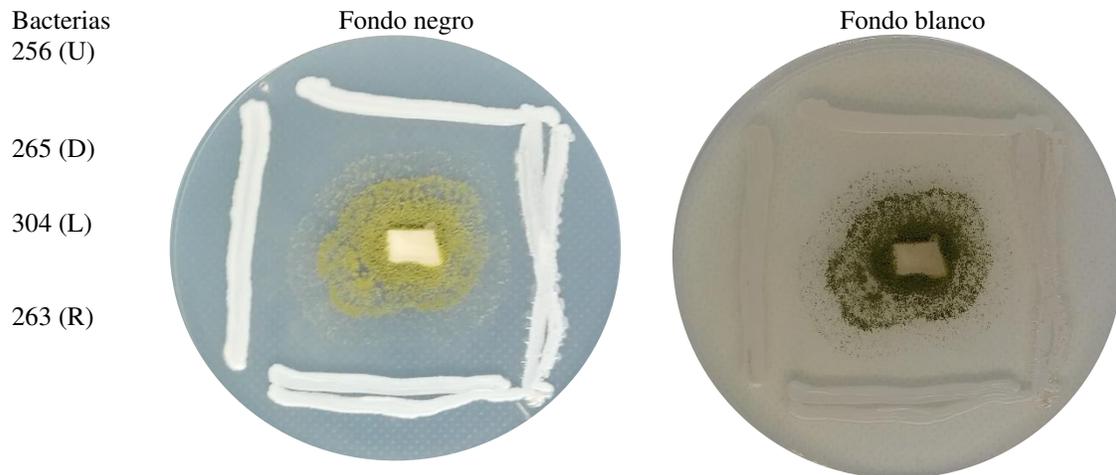
**Figura 4.33 Interacción de cepas 275, 313, 253 y 222 con el hongo *Aspergillus* H-117.**

Las cepas 266, 317 y 319 tienen interacciones de tipo negativo, en ambos fondos es posible observar la inhibición del hongo. La cepa 109 tuvo interacción positiva con el hongo, principalmente en el fondo blanco es posible observar como el anillo crece hacia la cepa y logra la invasión (figura 4.34).



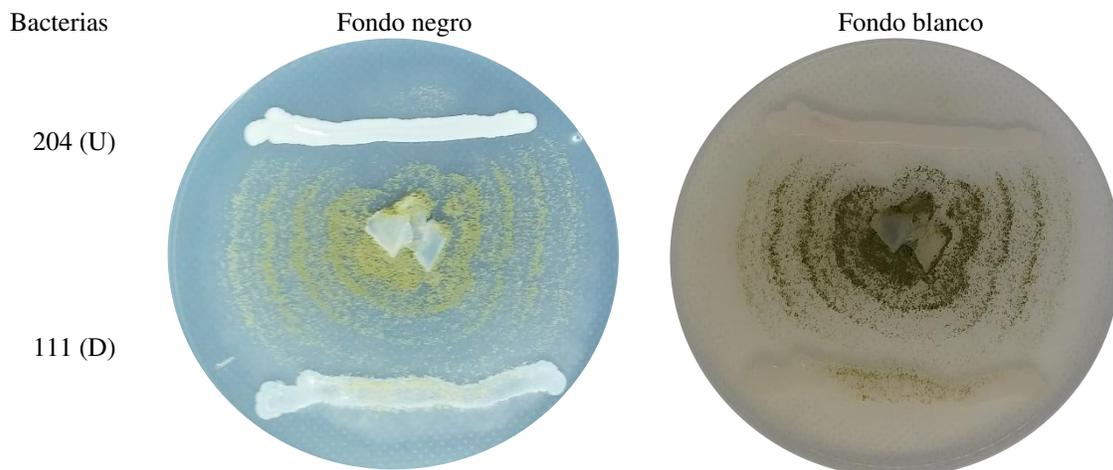
**Figura 4.34 Interacción de cepas 266, 317, 109 y 319 con el hongo *Aspergillus* H-117**

Las cepas 256, 265, 304 y 263 son interacciones de tipo negativa, la inhibición del hongo se observa en la figura 4.35.



**Figura 4.35 Interacción de cepas 256, 265, 304 y 263 con el hongo *Aspergillus* H-117.**

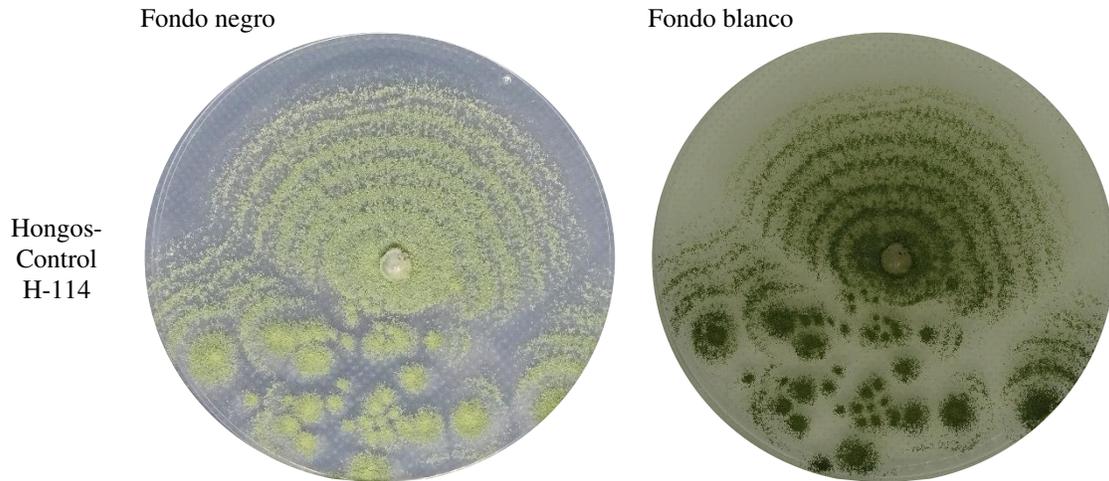
La cepa 204 tuvo una interacción antagonista, por otro lado, la cepa 111 tienen una interacción positiva, ya que, el anillo logra crecer a lo largo de la cepa (figura 4.36).



**Figura 4.36 Interacción de cepas 204 y 111 con el hongo *Aspergillus* H-117.**

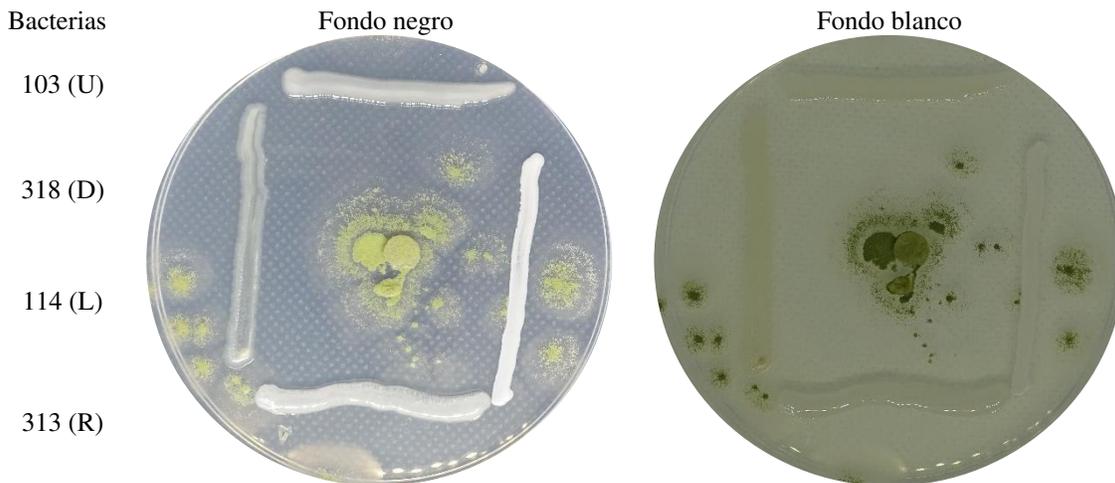
#### **4.1.5 *Aspergillus* H-114**

El hongo *Aspergillus* H-114 presenta un crecimiento en ondas, el cual está formado de esporas color verde. En la figura 4.37 es posible observar el hongo en medio PDA.



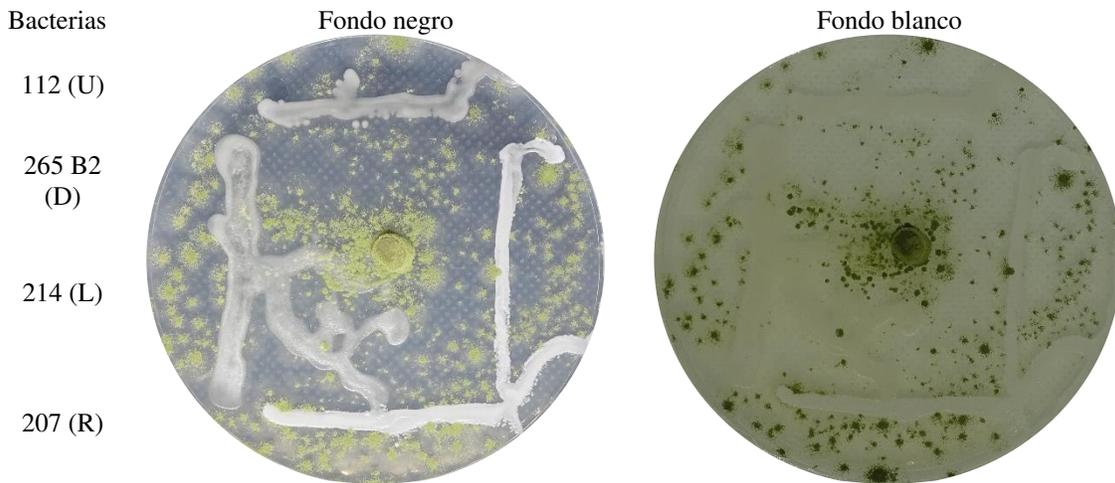
**Figura 4.37 Interacción de cepas 113, 225, 305 y 208 con el hongo *Aspergillus* H-114.**

Las cepas 103, 318, 114 y 313 tienen interacción de tipo negativa. Principalmente en el fondo blanco es posible ver la inhibición del hongo. Se observan esporas en el medio, sin embargo, no logran invadir las cepas (figura 4.38).



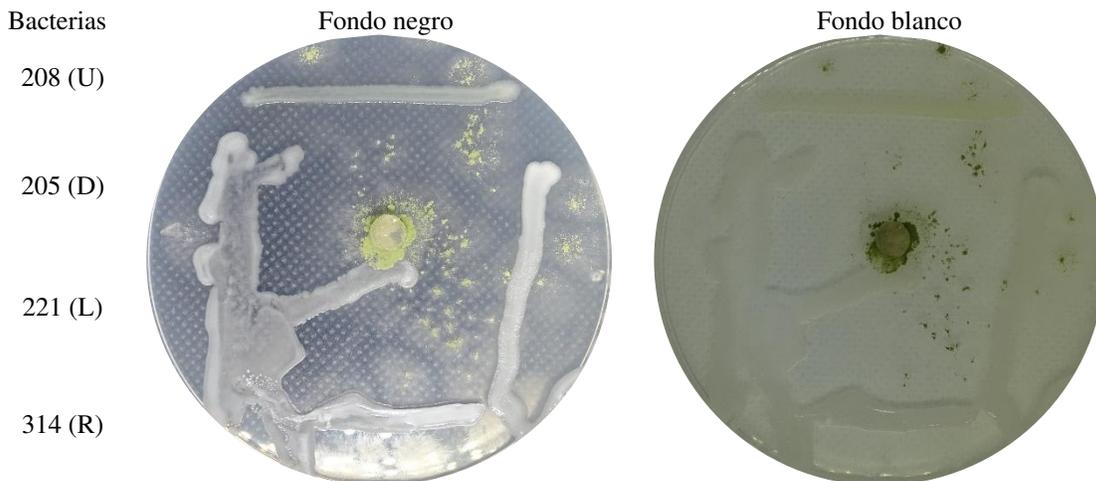
**Figura 4.38 Interacción de cepas 103, 318, 114 y 313 con el hongo *Aspergillus* H-114.**

La esporulación del hongo *Aspergillus* H-114 logró expandirse a lo largo de la caja, sin embargo, al observarse en el fondo blanco, las cepas 112, 265B2, 214 y 207 tuvieron interacciones de tipo positivo. En el fondo negro se observan las hifas que crecen en el medio hacia las bacterias (figura 4.39).



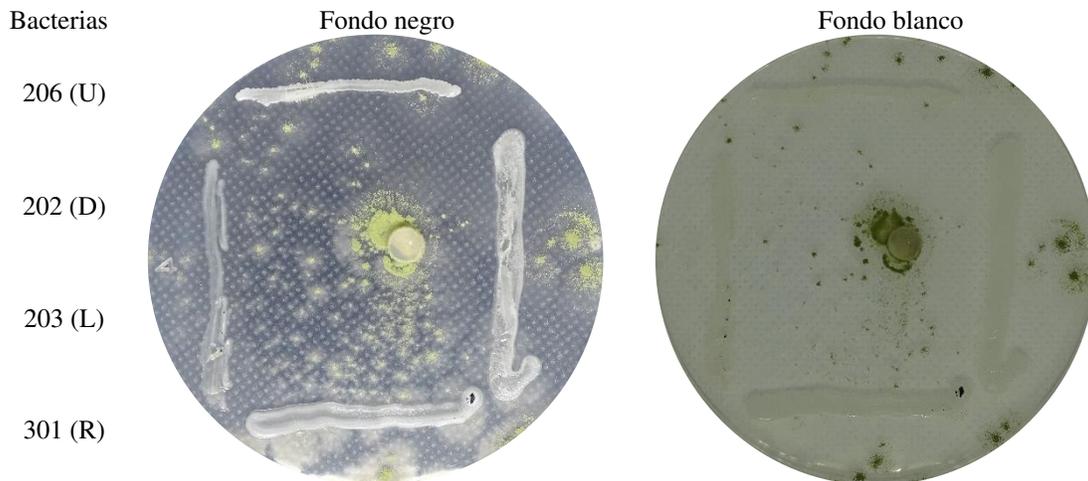
**Figura 4.39 Interacción de cepas 112, 265 B2, 214 y 207 con el hongo *Aspergillus* H-114.**

Las cepas 208, 205 y 314 son interacciones positivas, sin embargo, el hongo no logró la esporulación en el medio, aun así, la poca esporulación presente en el medio generó el crecimiento del micelio hacia las bacterias. Finalmente, el hongo 221 tuvo una interacción negativa, pues no permitió la esporulación (figura 4.40).



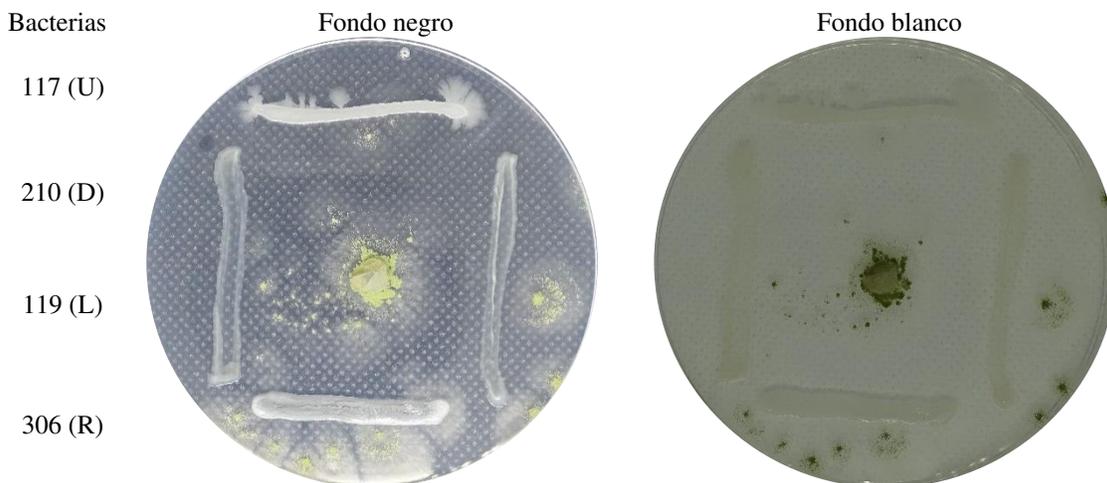
**Figura 4.40 Interacción de cepas 208, 205, 221 y 314 con el hongo *Aspergillus* H-114**

Las cepas de la figura 4.41 son interacciones de tipo negativo, principalmente en el fondo negro es posible observar el crecimiento del micelio en las cepas 206, 202, 203 y 301. En el fondo blanco se observa la esporulación en el medio.



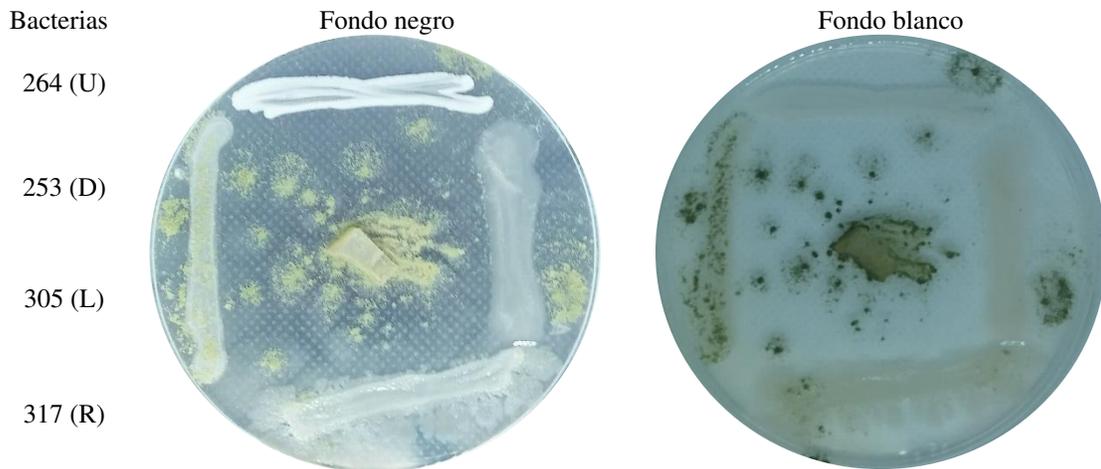
**Figura 4.41 Interacción de cepas 206, 202, 203 y 301 con el hongo *Aspergillus* H-114.**

Las cepas presentes en la figura 4.42 tienen interacción negativa con el hongo, en ambos fondos se observa la inexistente afinidad que existe en el medio.



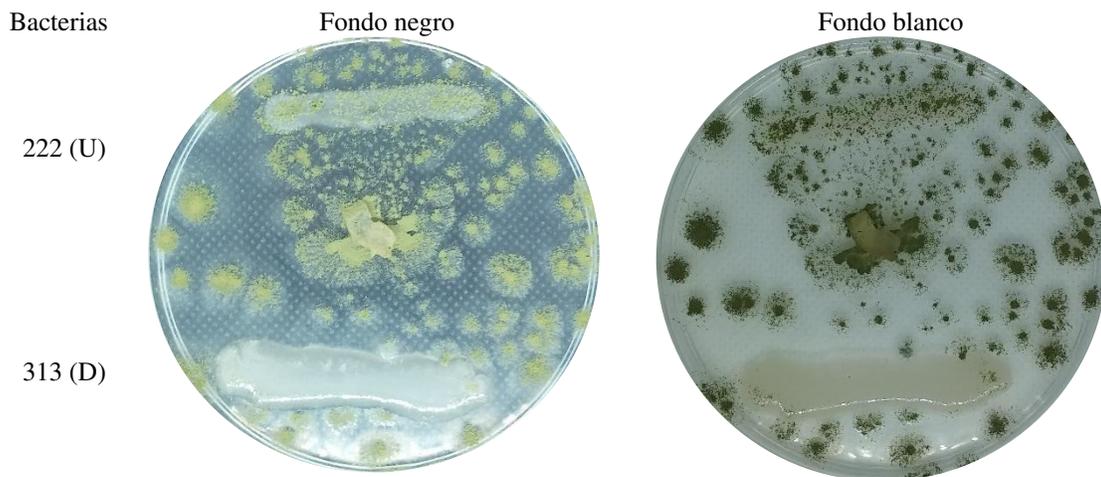
**Figura 4.42 Interacción de cepas 117, 210, 119 y 306 con el hongo *Aspergillus* H-114.**

En la figura 4.43 es posible observar que las interacciones con las cepas 264, 305 y 317 son de tipo negativo, con excepción de la cepa 253, la interacción es de tipo positivo, ya que, en ambos fondos es posible observar la esporulación, así como el desarrollo del micelio.



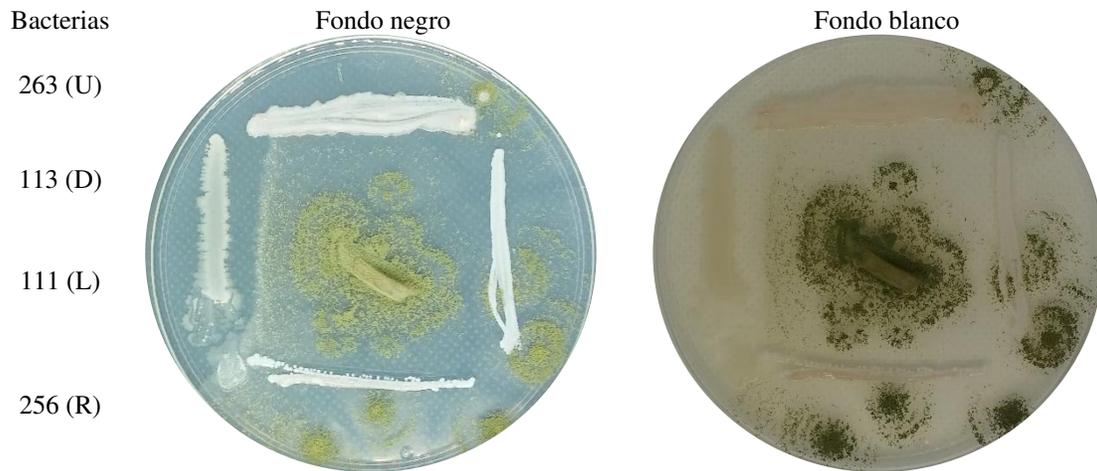
**Figura 4.43 Interacción de cepas 264 (-), 253 (+), 305 (-) y 317(-) con el hongo *Aspergillus* H-114.**

En la figura 4.44, la interacción negativa hacia la cepa 222 es evidente en ambos fondos. En el fondo blanco se observa la esporulación, por otro lado, en el fondo negro además de la esporulación se percibe el crecimiento del micelio. Pese a que la esporulación se observa a lo largo de la caja, con la cepa 313 no tiene interacción de tipo positivo.



**Figura 4.44 Interacción de cepas 222 (+) y 313(-) con el hongo *Aspergillus* H-114.**

En la figura 4.45, las cepas tuvieron respuesta de tipo positivo, a excepción de la cepa 111, quien impidió el desarrollo del hongo, tanto de sus esporas, como del micelio. Por otro lado, las cepas 263, 113 y 256 tuvieron una respuesta positiva, ya que, permitieron la interacción mutualista, mediante el desarrollo de esporas y micelios.

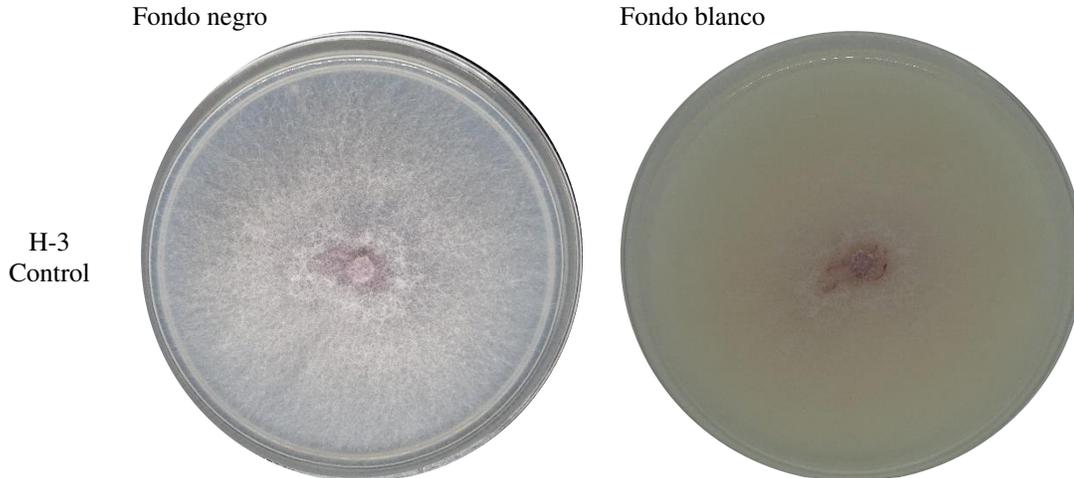


**Figura 4.45** Interacción de cepas 263 (+), 113 (+), 111(-) y 256(+) con el hongo *Aspergillus* H-114.

## 4.2 *Fusarium*

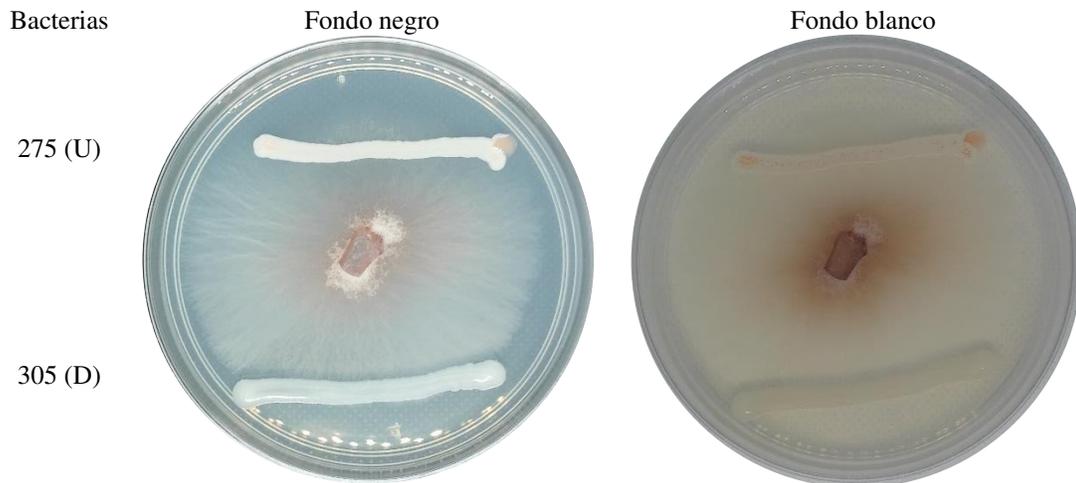
### 4.2.1 *Fusarium* H-3

La cepa H-3, tienen una coloración blanca y en el centro tiende a ser de color violeta (figura 4.46).



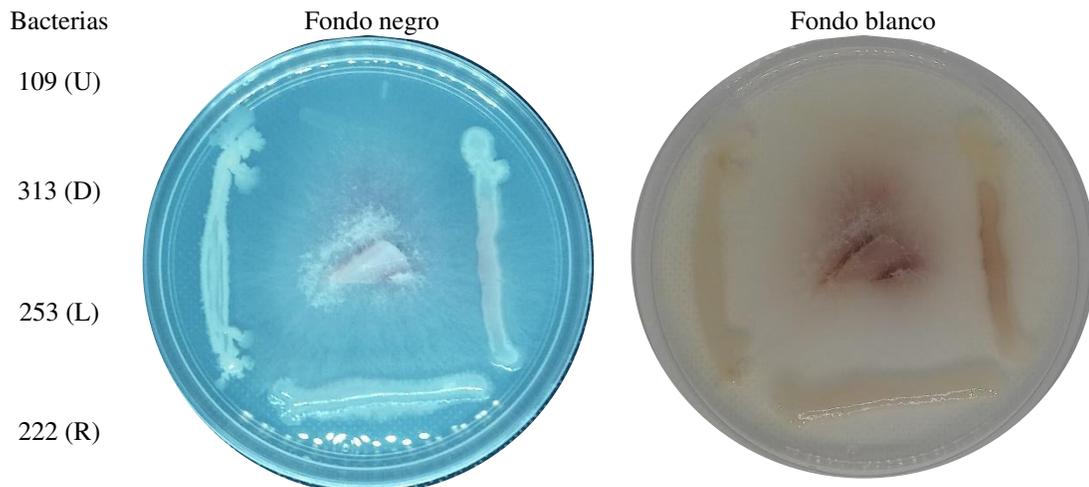
**Figura 4.46** Control del hongo *Fusarium* H-3.

Las cepas 275 y 305 tuvieron interacción negativa con el hongo. Principalmente en el fondo negro es posible observar la inhibición del hongo (figura 4.47). Mientras que, en el fondo blanco, se observa la coloración violeta que inclusive logra decolorar la cepa 275, presente en la parte superior de la caja.



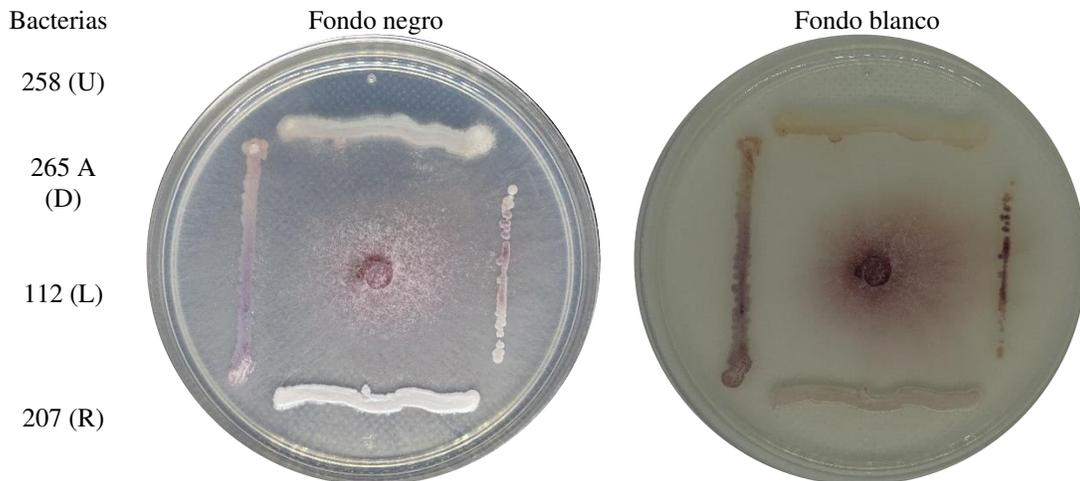
**Figura 4.47 Interacción de cepas 275 (-) y 305 (-) con el hongo *Fusarium* H-3.**

Las cepas 109, 313 y 253 tuvieron interacción negativa con el hongo H-3. Incluso la cepa 109 no pudo desarrollarse en el medio, mientras que las cepas 313 y 253 crecieron en el medio, pero inhibieron el crecimiento del micelio. En el caso de la interacción 222, se observa la interacción de tipo positivo y la pigmentación violeta de la cepa (figura 4.48).



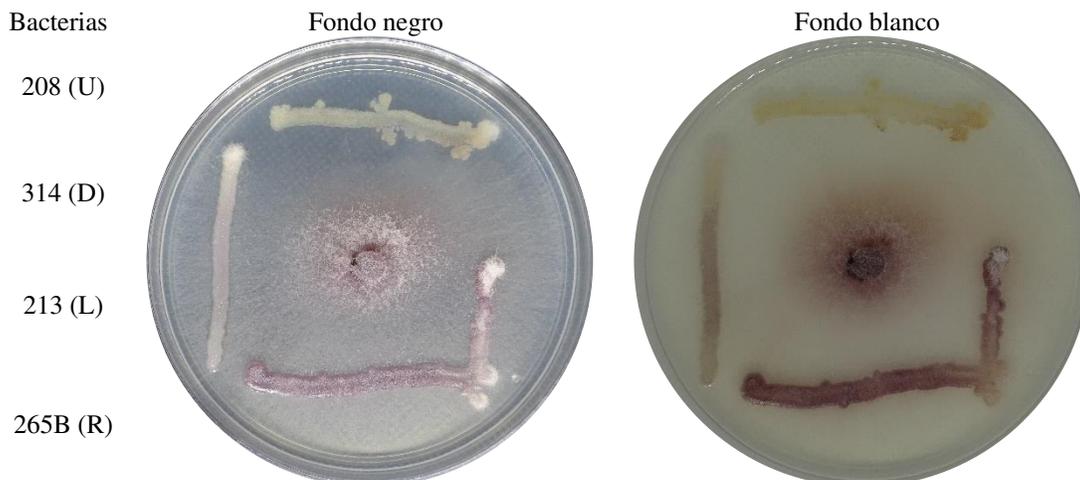
**Figura 4.48 Interacción de cepas 109 (-), 313 (-), 222(+) y 253(-) con el hongo *Fusarium* H-3.**

Las cepas 258 y 265 A presentes en la figura 86, son de tipo negativo. En el fondo negro se observa cómo se inhibe el crecimiento del hongo tanto en U, como en D. Por otro lado, las cepas 112 y 207, tuvieron interacciones positivas. En ambos fondos es posible observar cómo se tiñen las cepas y en el fondo negro se observa el crecimiento del micelio (Figura 4.49).



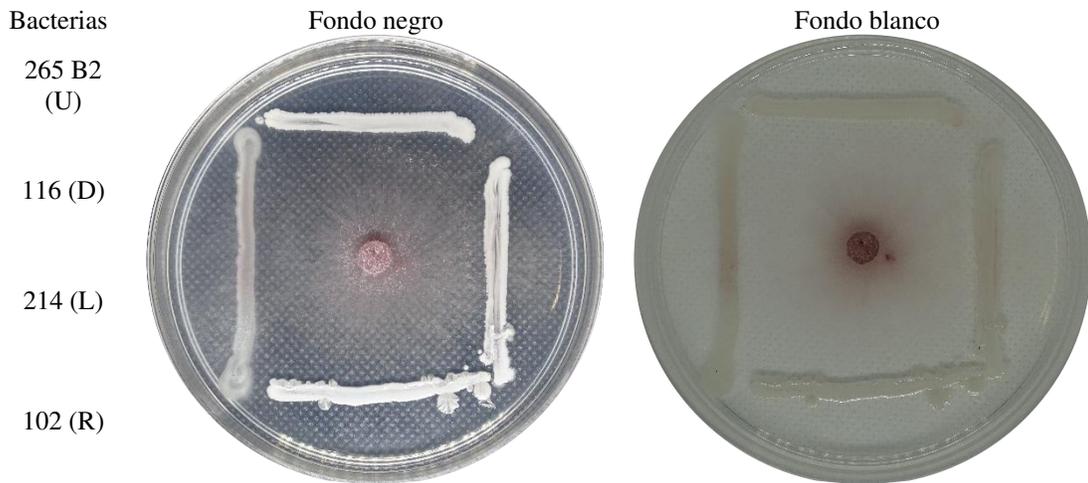
**Figura 4.49 Interacción de cepas 258 (-), 265 A (-), 112 (+) y 207 (+) con el hongo *Fusarium H-3*.**

Las cepas presentes en la figura 4.50 se observan las interacciones positivas de las cepas 314, 213 y 265 B con el hongo H-3. Conforme crece el hongo H-3, desde el centro de la caja hacia las cepas, es posible ver como la pigmentación se va perdiendo. Principalmente en el fondo negro es donde se percibe el crecimiento del micelio (de color blanco). Sin embargo, cuando el micelio logra la interacción, es posible observar la pigmentación morada en las cepas bacterianas. La cepa 208 inhibió el crecimiento del hongo, por lo que se consideró interacción negativa (antagonista).



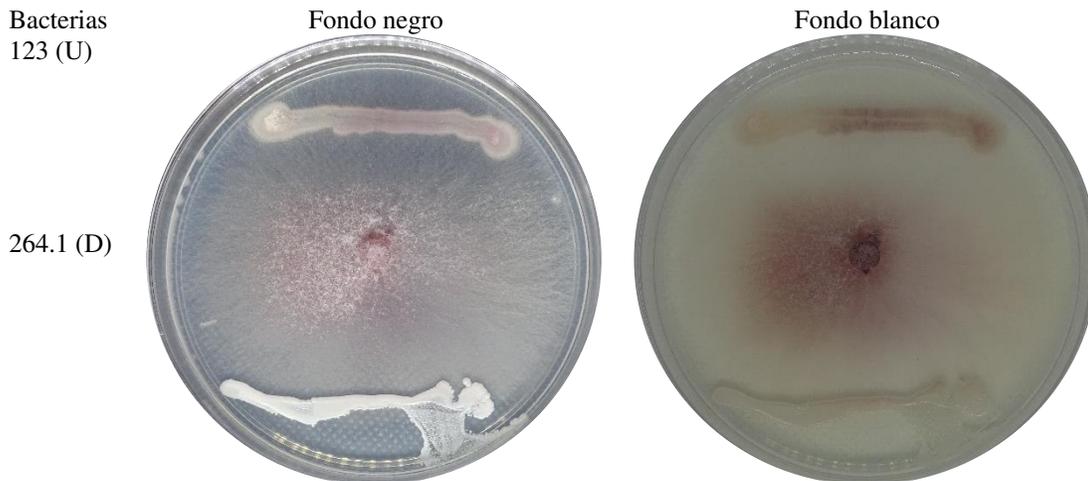
**Figura 4.50 Interacción de cepas 208 (-), 314 (+), 213 (+) y 265 B (+) con el hongo *Fusarium H-3*.**

En la figura 4.51 se observa el crecimiento del micelio hacia las cepas 214 y 102 por lo que tuvieron interacciones positivas, en el caso de la interacción de la cepa 214, ésta presentó una ligera pigmentación. Finalmente, las cepas 265 B2 y 116 tuvieron interacción negativa, en la figura 4.51, en el fondo negro se observa la inhibición que presentaron.



**Figura 4.51 Interacción de cepas 265 B2 (-), 116 (-), 214 (+) y 102 (+) con el hongo *Fusarium* H-3.**

La cepa 123 tuvo interacción positiva con el hongo H-3, además presentó una pigmentación morada. Mientras que la cepa 264.1 fue inhibida, por lo que se consideró una interacción negativa. El crecimiento del micelio fue visible en el fondo negro, así como la pigmentación, en el fondo blanco únicamente se observa el micelio color morado en el centro, conforme crece, el color se vuelve blanco, por lo que en el fondo claro no logra percibirse. Sin embargo, al interactuar con la cepa 123 logra pigmentarla e invadirla con el micelio (figura 4.52).

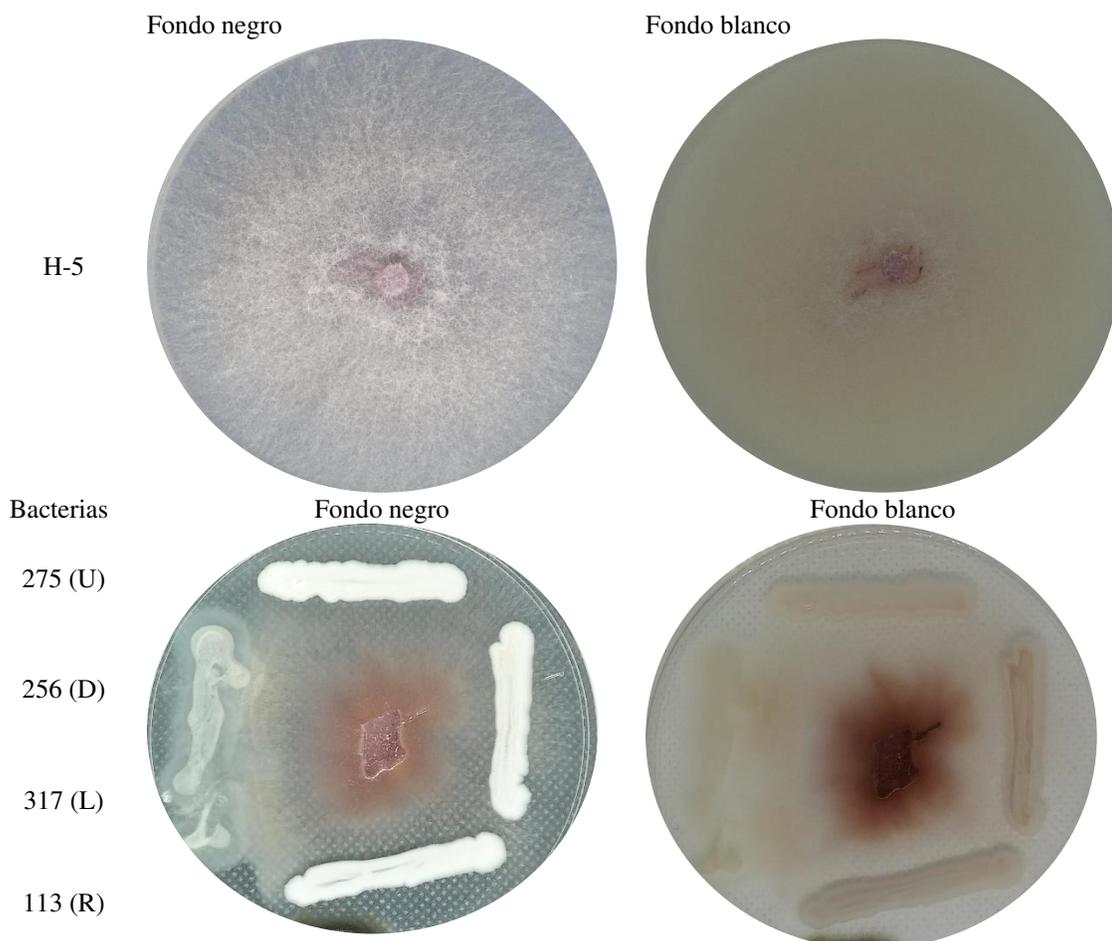


**Figura 4.52 Interacción de cepas 123 (+) y 264.1 (-) con el hongo *Fusarium* H-3.**

#### **4.2.2 *Fusarium* H-5**

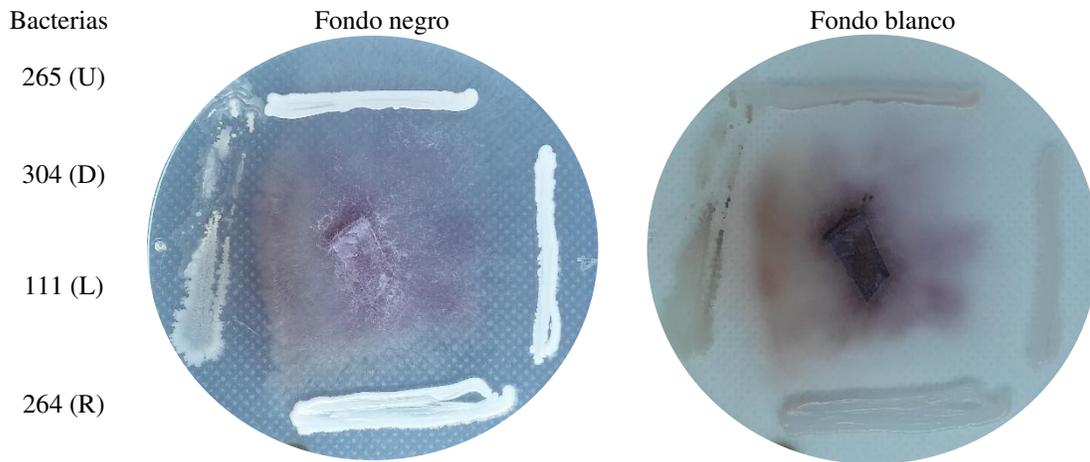
El control de *Fusarium* H-5 se muestra en la figura 4.53, en el fondo negro se visualiza el color blanco del micelio y en el centro se observa el color morado de este. Las cepas 275, 256

y 317 presentaron interacciones de tipo negativa, aunque fueron pigmentadas ocurrió una interacción antagonista, en el fondo negro se percibe la inhibición del micelio. La cepa 113 presentó una interacción positiva con el hongo *Fusarium* H-5, pues es visible el crecimiento y pigmentación que ocurrió en la figura 4.53.



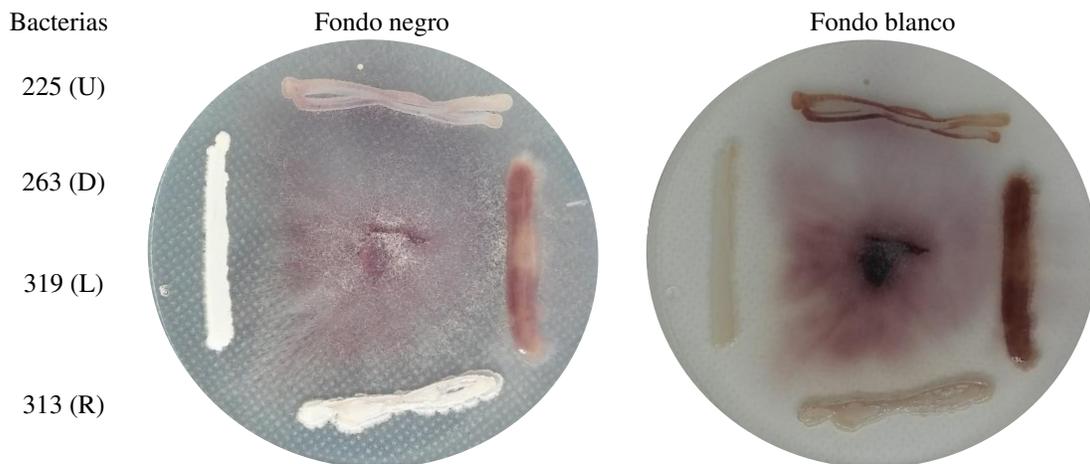
**Figura 4.53** Control de *Fusarium* H-5 e interacción de cepas 275 (-), 256 (-), 317 (-) y 113 (+) con el hongo *Fusarium* H-5.

Las interacciones de la figura 4.54, mayormente fueron negativas. Sin embargo, la cepa 265 presentó pigmentación morada y permitió el desarrollo del micelio. Por ello, se consideró como interacción positiva. Por otro lado, las cepas 304, 111 y 264 tuvieron interacción negativa. En el fondo negro es posible observar la inhibición que ocurrió con la cepa 111, mientras que las cepas 304 y 264 presentaron una interacción antagonista (figura 4.54).



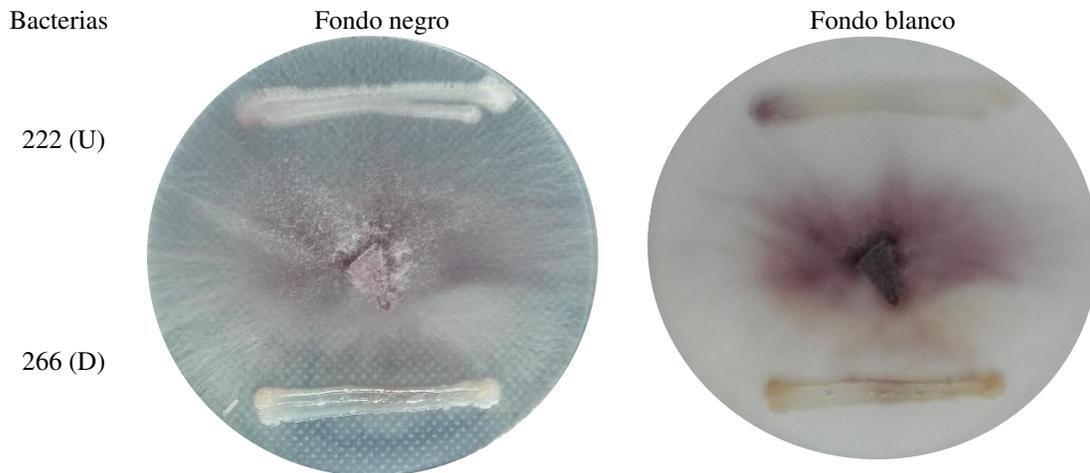
**Figura 4.54 Interacción de cepas 265 (+), 304 (-), 111 (-) y 264 (-) con el hongo *Fusarium* H-5.**

Las cepas 225 y 313 presentes en la figura 92, tuvieron interacción positiva con el hongo H-5. En el fondo negro se puede ver la pigmentación de las cepas, así como el crecimiento del micelio. En el fondo blanco se observa el desarrollo del micelio y la pigmentación de las cepas bacterianas. Las cepas 263 (inhibida) y 319 (antagonista) tuvieron interacción negativa.



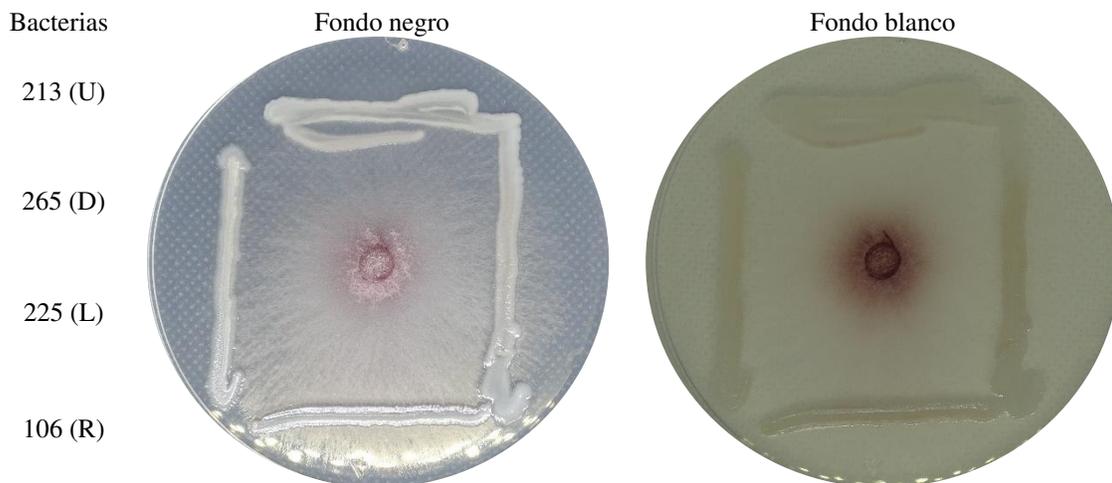
**Figura 4.55 Interacción de cepas 225 (+), 263 (-), 319 (-) y 313 (+) con el hongo *Fusarium* H-5.**

La cepa 222 tuvo interacción positiva, en el fondo negro se observa el crecimiento del micelio, así como una ligera pigmentación. La cepa 266 mostró un comportamiento antagonista, por lo que se consideró una interacción negativa (figura 4.56).



**Figura 4.56 Interacción de cepas 222 (+) y 266 (-) con el hongo *Fusarium* H-5.**

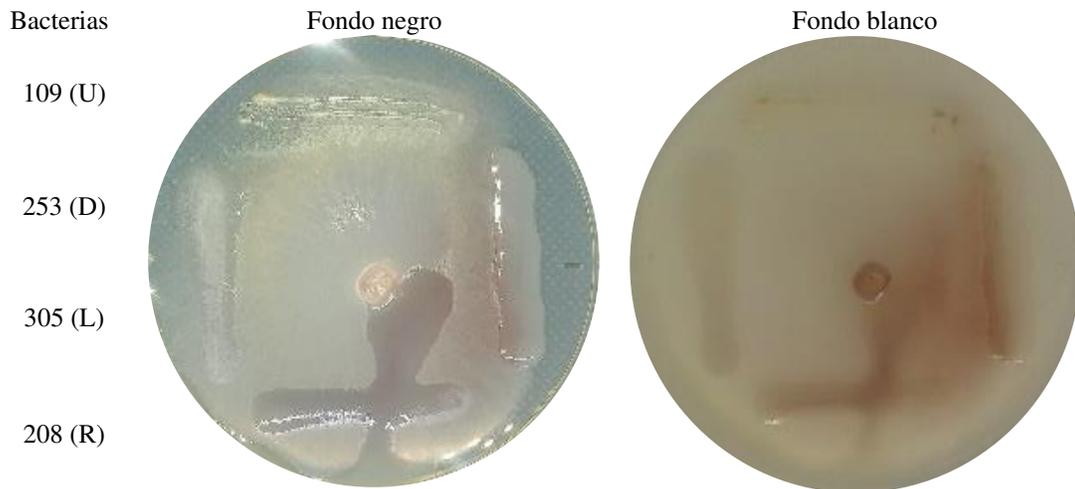
Las cepas 213 y 225 tuvieron interacción negativa, mientras que las cepas 265 y 106 presentaron interacción positiva, en el fondo negro se percibe el crecimiento del micelio (figura 4.57).



**Figura 4.57 Interacción de cepas 213 (-), 225 (-), 265 (+) y 106 (+) con el hongo *Fusarium* H-5.**

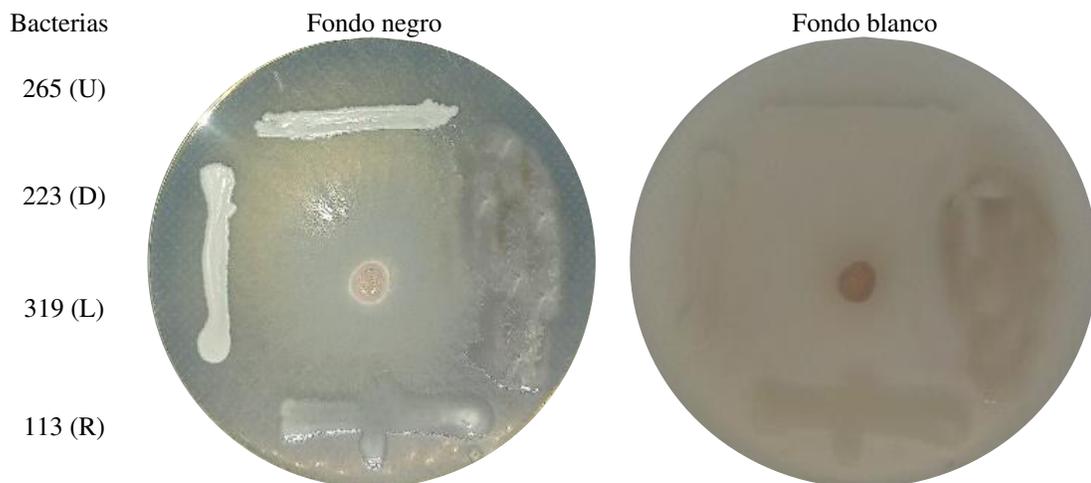
### 4.2.3 *Fusarium* H-33

Las cepas 109, 253 y 305 tuvieron una respuesta positiva en las interacciones de la figura 4.58. En el fondo negro se visualiza el crecimiento del hongo, así como la pigmentación en las cepas 253 y 208. La cepa 208 tuvo una interacción antagonista, por ello, se clasificó como interacción positiva.



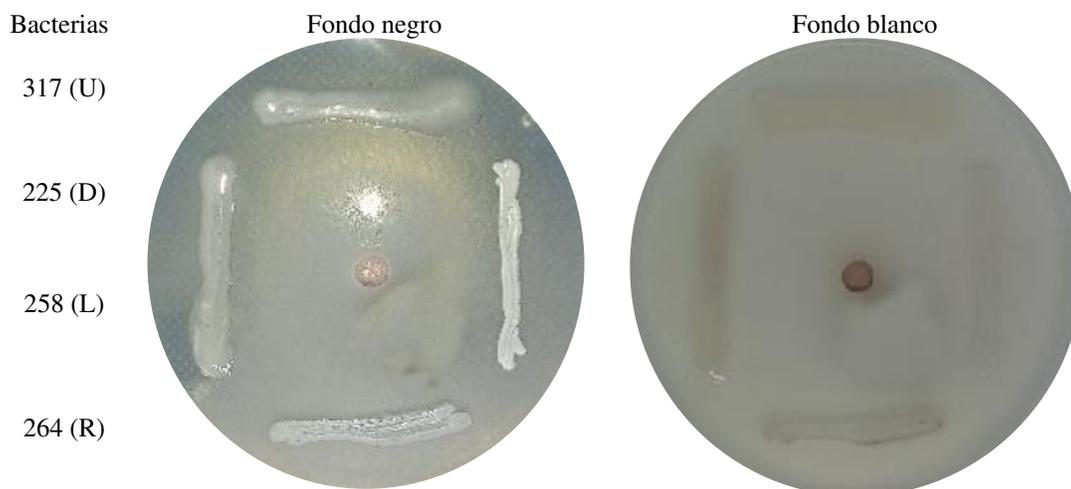
**Figura 4.58** Interacción de cepas 109 (+), 253 (+), 305 (+) y 208 (-) con el hongo *Fusarium* H-33.

Las cepas 265 y 319 tuvieron interacciones positivas, por otro lado, la cepa 223 y 113 tuvieron una interacción negativa con el hongo H-33, en ambos casos se visualiza el comportamiento antagonista. El micelio creció en el medio con una coloración blanquecina (figura 4.59).



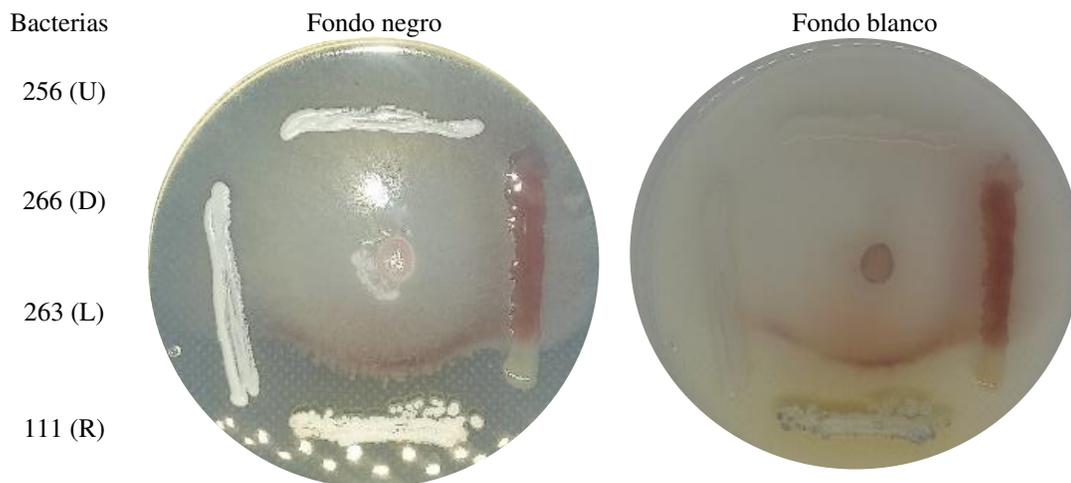
**Figura 4.59** Interacción de cepas 265 (+), 223 (-), 319 (+) y 113 (-) con el hongo *Fusarium* H-33.

La figura 4.60 muestra cuatro cepas que tuvieron interacciones positivas con el hongo H-33, como se percibe en la figura, el micelio creció en todo el medio de cultivo. Si bien, la pigmentación únicamente se observa en la cepa 225.



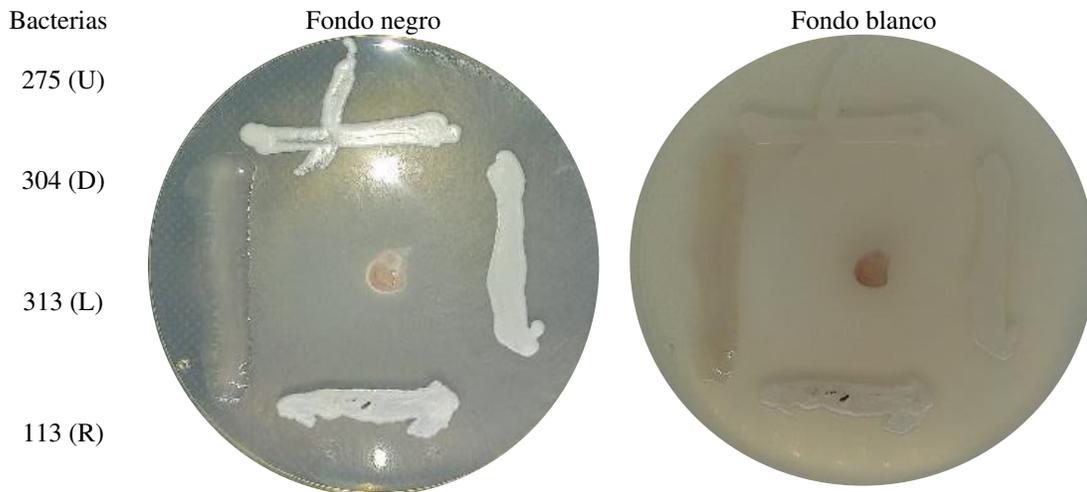
**Figura 4.60 Interacción de cepas 317 (+), 225 (+), 258 (+) y 264 (+) con el hongo *Fusarium* H-33.**

Las cepas 256 y 111 tuvieron interacción positiva con el hongo H-5, el crecimiento del micelio se distingue principalmente en el fondo negro de la figura 4.61. Las interacciones negativas se dieron con las cepas 266 y 263. Específicamente la cepa 266 logro inhibir el crecimiento del hongo y la cepa 263 tuvo un comportamiento antagonista (figura 4.61).



**Figura 4.61 Interacción de cepas 256 (+), 266 (-), 263 (-) y 111 (+) con el hongo *Fusarium* H-33.**

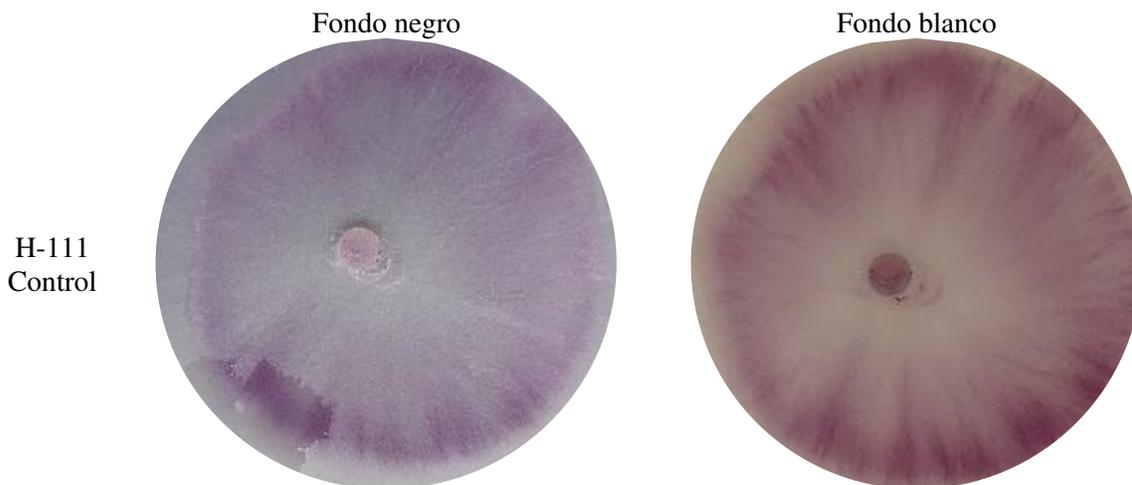
Las interacciones 275, 304 y 313 tuvieron una respuesta positiva con el hongo H-5, mientras que la cepa 113 tuvo una interacción antagonista. La interacción del hongo se dio por medio del micelio (figura 4.62).



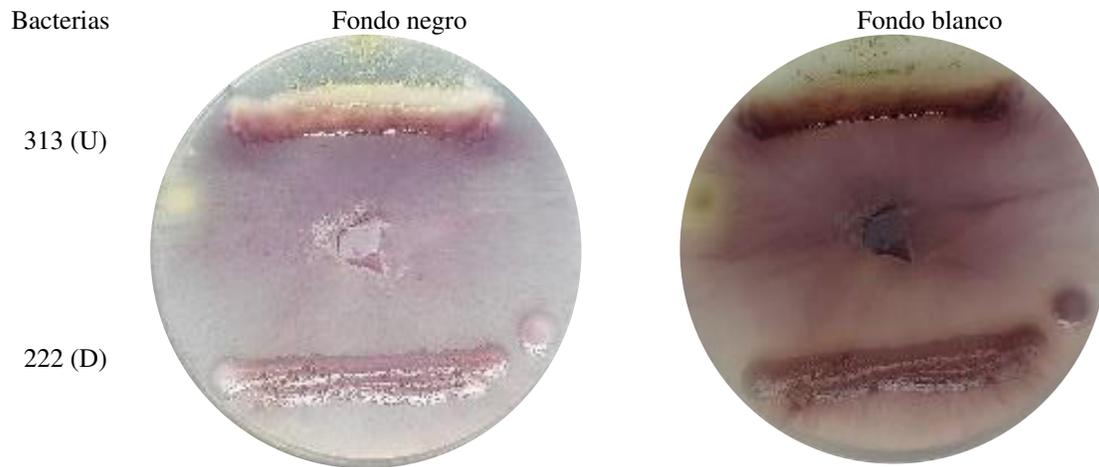
**Figura 4.62** Interacción de cepas 275 (+), 304 (+), 313 (+) y 113 (-) con el hongo *Fusarium* H-3.

#### 4.2.4 *Fusarium* H-111

La H-111, es un hongo del género *Fusarium*, sus principales características son su coloración morada en el micelio (figura 4.63). Las cepas 313 y 222 tuvieron una interacción positiva, en la figura 4.64 se observa el crecimiento del hongo, así como la pigmentación que ocurrió en el medio.

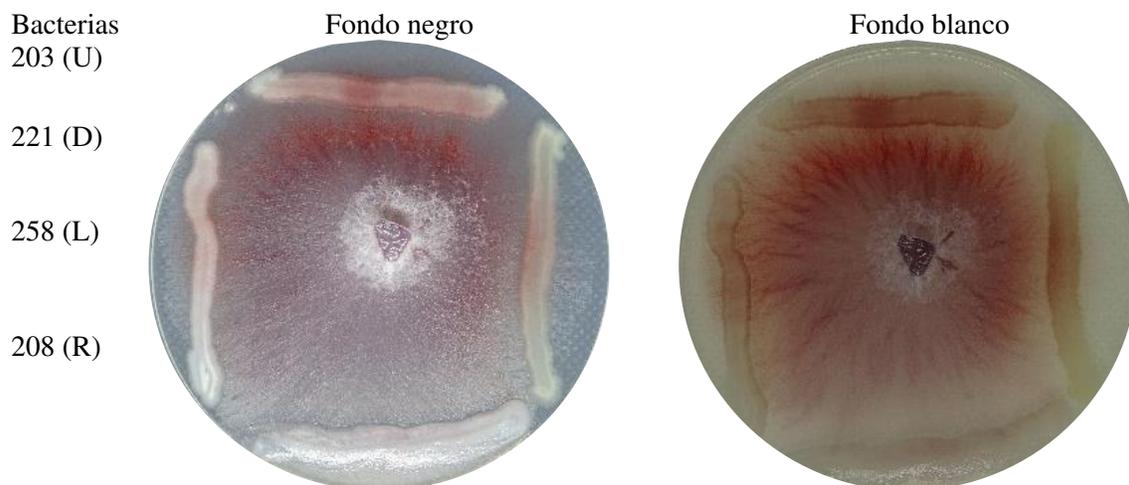


**Figura 4.63** *Fusarium* H-111



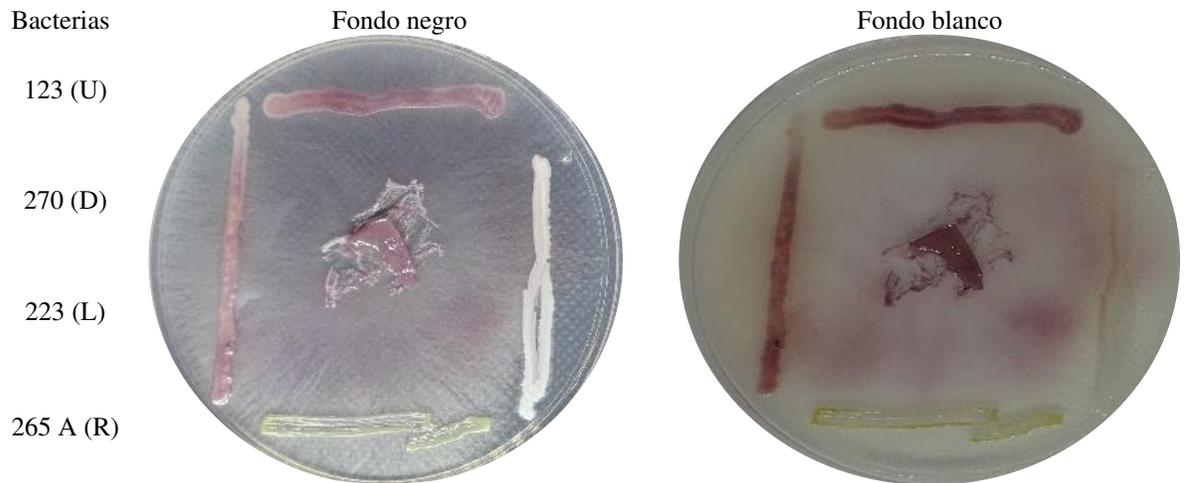
**Figura 4.64 Interacción de cepas 313 (+) y 222(+) con el hongo *Fusarium* H-111.**

Las cepas 203, 258 y 208 tuvieron una interacción positiva con el hongo H-111, la tinción se dio en tres de las cuatro cepas presentes en el medio. En el caso de la cepa 221 no se dio la tinción, sino que, el micelio que creció en el medio fue de color blanco (figura 4.65).



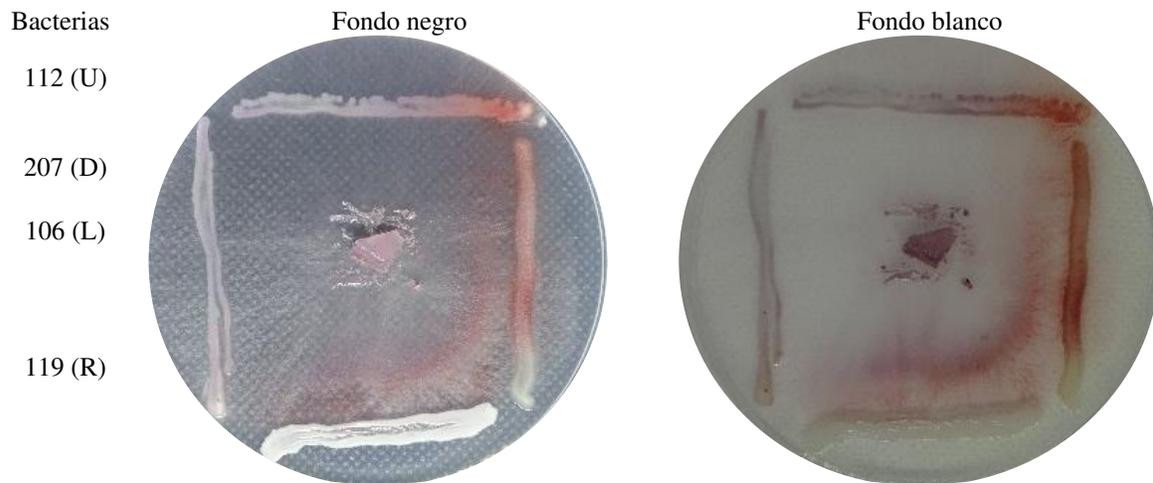
**Figura 4.65 Interacción de cepas 203 (+) y 221 (+), 258 (+) y 208 (+) con el hongo *Fusarium* H-111.**

Las cepas 123, 270, 223 y 265 A tuvieron interacciones positivas con el hongo H-111. En la figura 4.66 se visualizan las pigmentaciones que ocurrieron en el medio y en algunas de las cepas con quienes interaccionó H-111. En el caso de 270 y 265 A no se tiñeron las cepas, sin embargo, el crecimiento del micelio se observa en el fondo negro.



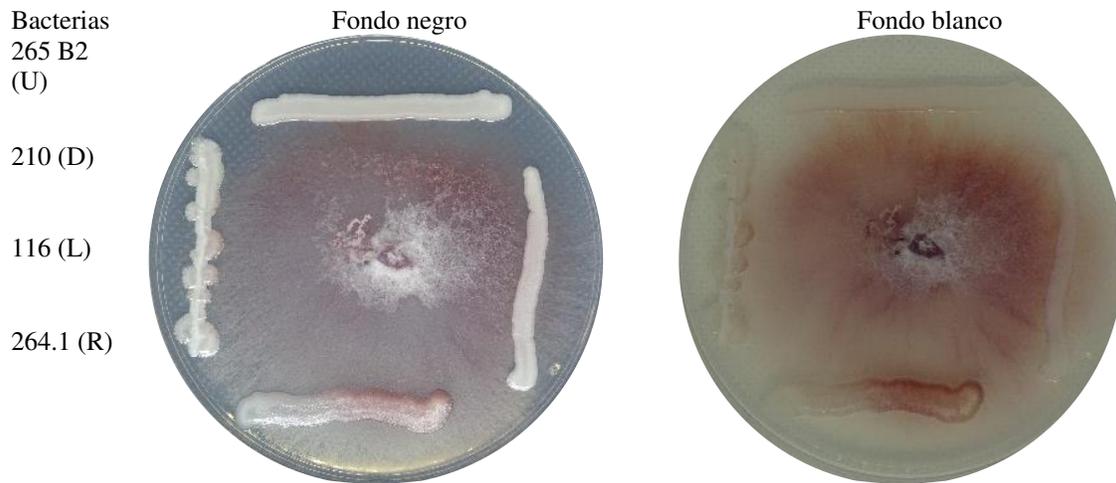
**Figura 4.66 Interacción de cepas 123 (+) y 270 (+), 223 (+) y 265 A (+) con el hongo *Fusarium* H-111**

Las cepas 112, 207, 106 y 119 tienen interacciones positivas, la tinción es posible observarse en ambos fondos, sin embargo, en el fondo blanco se observa el crecimiento del micelio, así como las hifas moradas (figura 4.67).



**Figura 4.67 Interacción de cepas 112 (+), 207 (-), 106 (+) y 119 (+) con el hongo *Fusarium* H-111.**

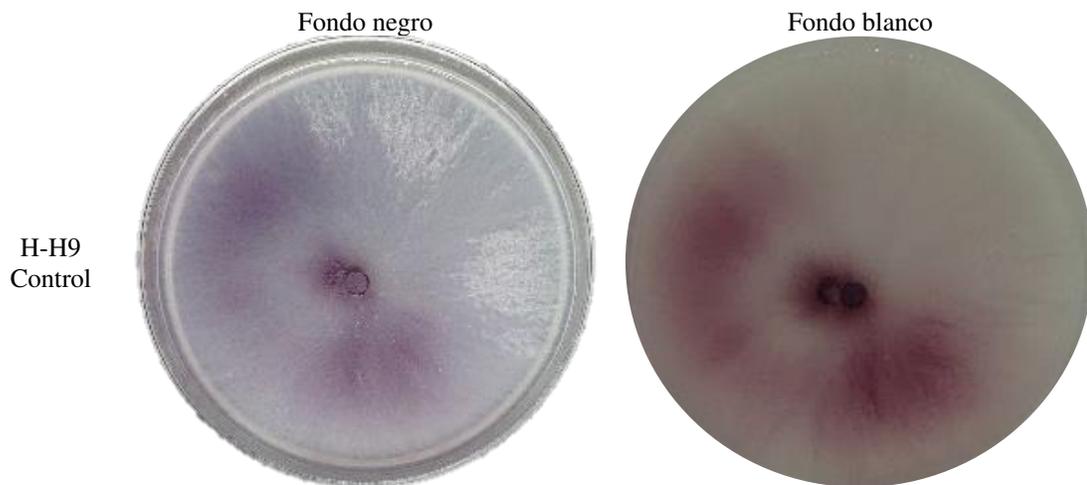
Las cepas 265 B2, 210, 116 y 264.1 tienen interacciones diversas. Las cepas 210 y 264.1 interaccionaron de manera positiva, mientras que las cepas 265 B2 y 116 tuvieron interacción positiva (figura 4.68).



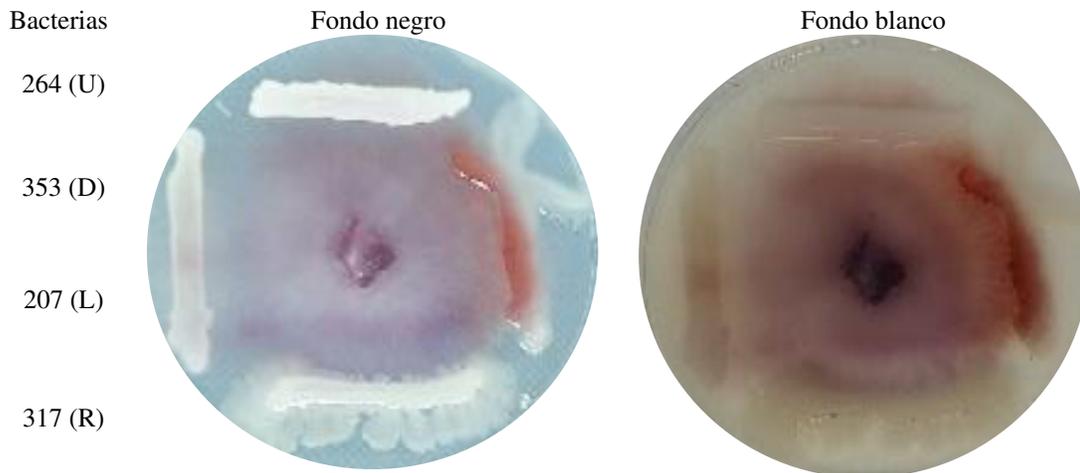
**Figura 4.68** Interacción de cepas 265 B2 (-), 210 (+), 116 (-) y 264.1 (+) con el hongo *Fusarium* H-111.

#### 4.2.5 *Fusarium* H-H9

*Fusarium* H-H9 presentó micelio color morado y blanco en el medio, como se muestra en el control (figura 4.69). Las cepas que tuvieron interacción positiva con el hongo H9, fueron 264 y 207. Las cepas que tuvieron interacciones negativas fueron las cepas 253 y 317, quienes inhibieron el crecimiento de H9. Incluso 253 impidió la tinción y se extendió en el medio (figura 4.70).

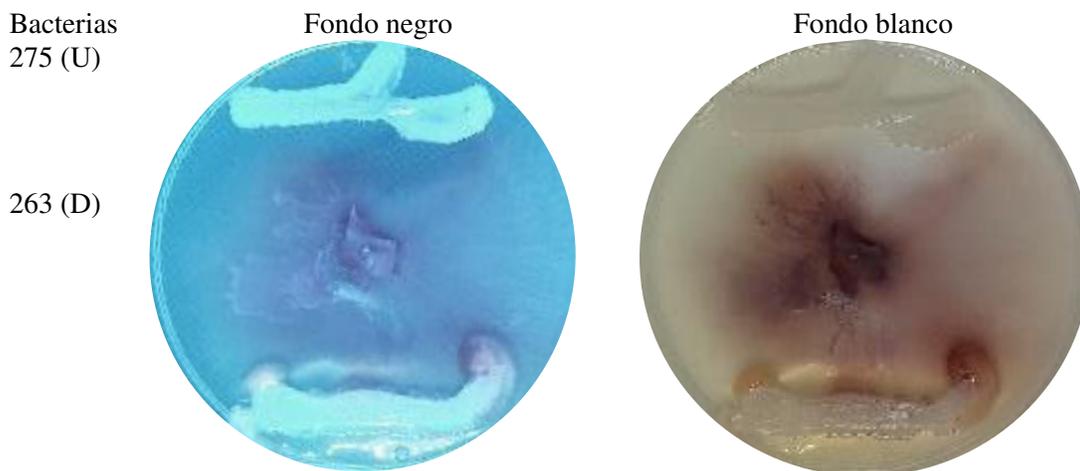


**Figura 4.69** Control *Fusarium* H-H9



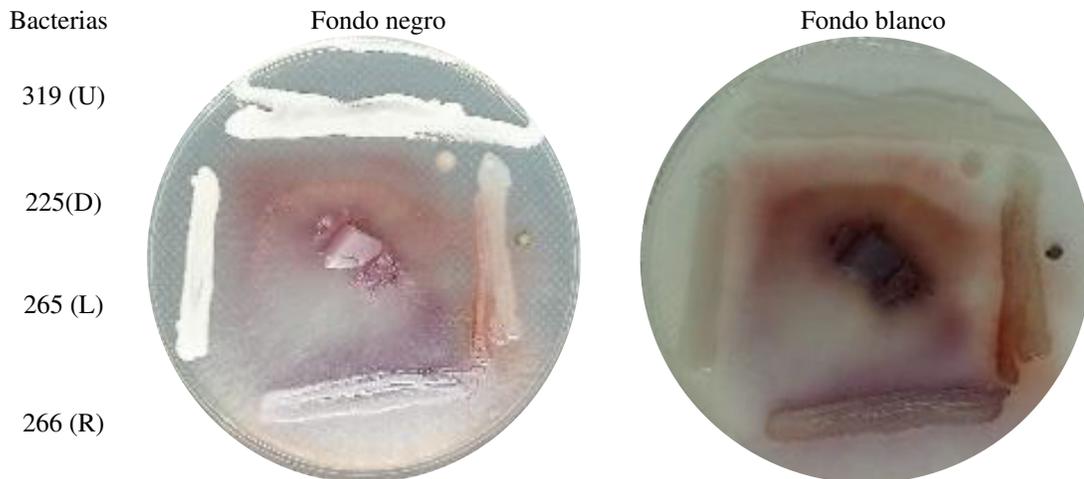
**Figura 4.70 Interacción de cepas 264 (+), 253 (-), 207 (+) y 317 (-) con el hongo *Fusarium* H-H9.**

Las cepas 275 y 263 tuvieron interacciones negativas con el hongo H9. En la figura 4.71 se observa la pigmentación del medio, así como la inhibición del hongo.



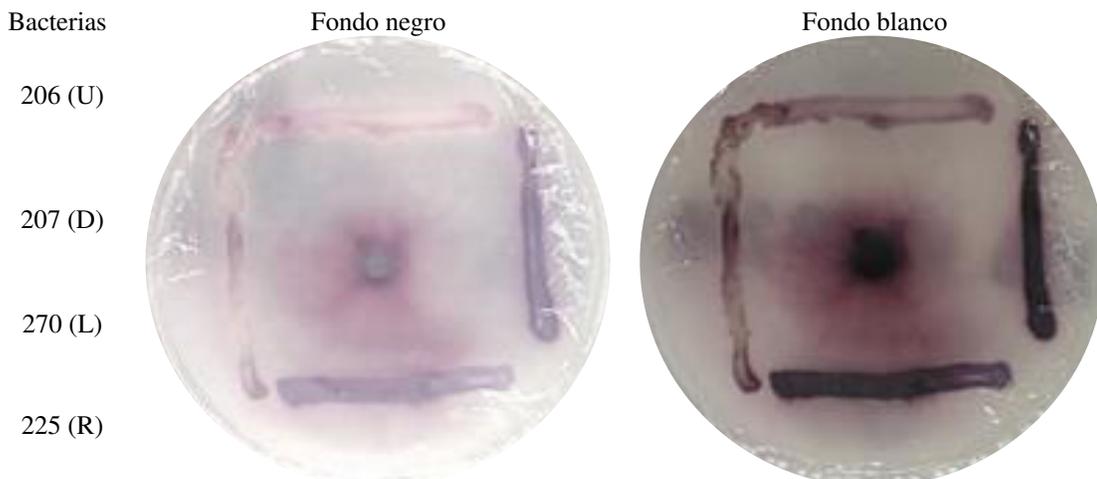
**Figura 4.71 Interacción de cepas 275 (-) y 263 (-) con el hongo *Fusarium* H-H9.**

Las cepas 319, 225, 265 y 266 tuvieron interacciones negativas con H9, pese a que las cepas 225 y 266 presentaron pigmentación, el hongo fue inhibido, impidiendo el desarrollo (figura 4.72).



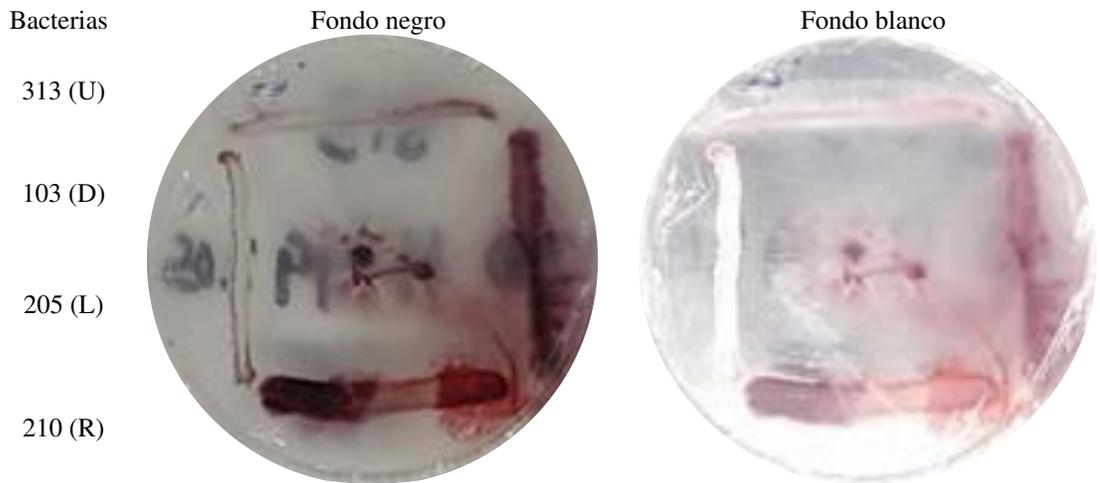
**Figura 4.72 Interacción de cepas 319(-), 225(-), 265(-) y 266(-) con el hongo *Fusarium* H-H9.**

En el caso de las cepas 206, 270 y 225 tuvieron interacciones negativas, aunque presentaron pigmentación, existió inhibición del micelio. La cepa 207 tuvo interacción positiva, ya que, fue invadida por el micelio e incluso se pigmentó como se muestra en la figura 4.73.



**Figura 4.73 Interacción de cepas 206(-), 207(+), 270(-) y 225(-) con el hongo *Fusarium* H-H9.**

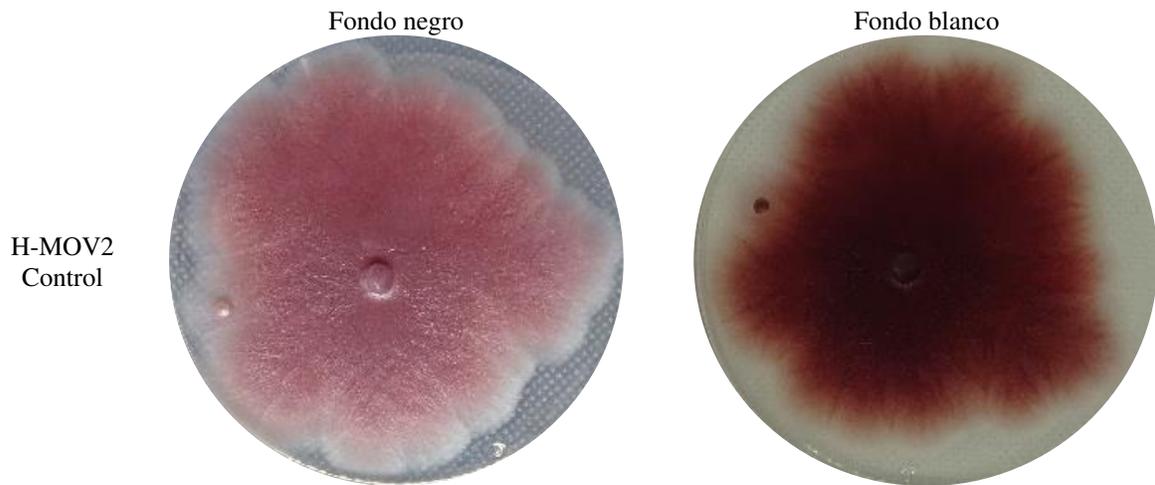
Las cepas 313 y 210 fueron interacciones positivas, contrario a esto, las cepas 103 y 205 tuvieron interacciones negativas como se observa en la figura 4.74, en ambos fondos (negro y blanco).



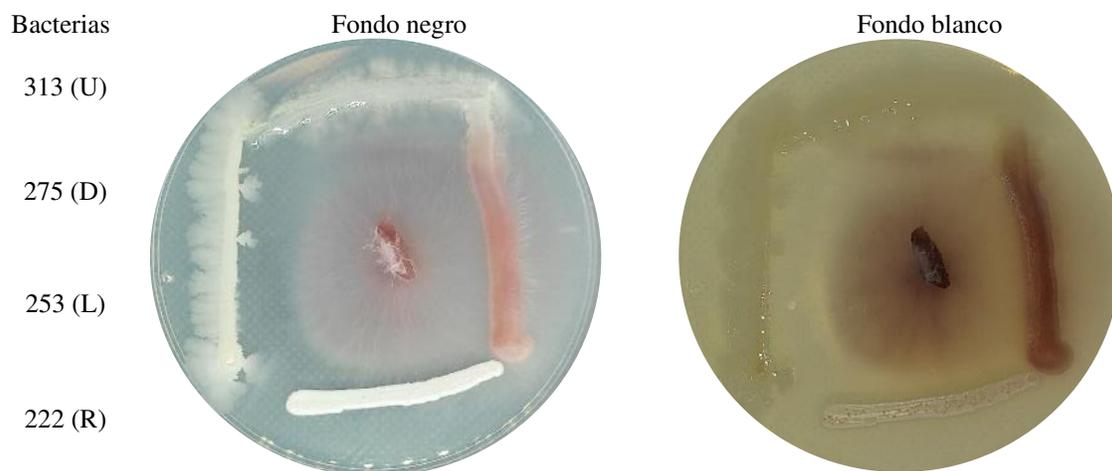
**Figura 4.74** Interacción de cepas 313(+), 103(-), 205(-) y 210(+) con el hongo *Fusarium* H-H9.

#### 4.2.6 *Fusarium* H-Mov2

El hongo H-MOV2 tiene una coloración rojiza, en comparación a los anteriores hongos estudiados que tenían una coloración vino (figura 4.75). Las interacciones presentes en la figura 4.76, mostraron comportamientos negativos con excepción de la cepa 222. En el fondo blanco se percibe la pigmentación de la cepa, así como del centro del medio.

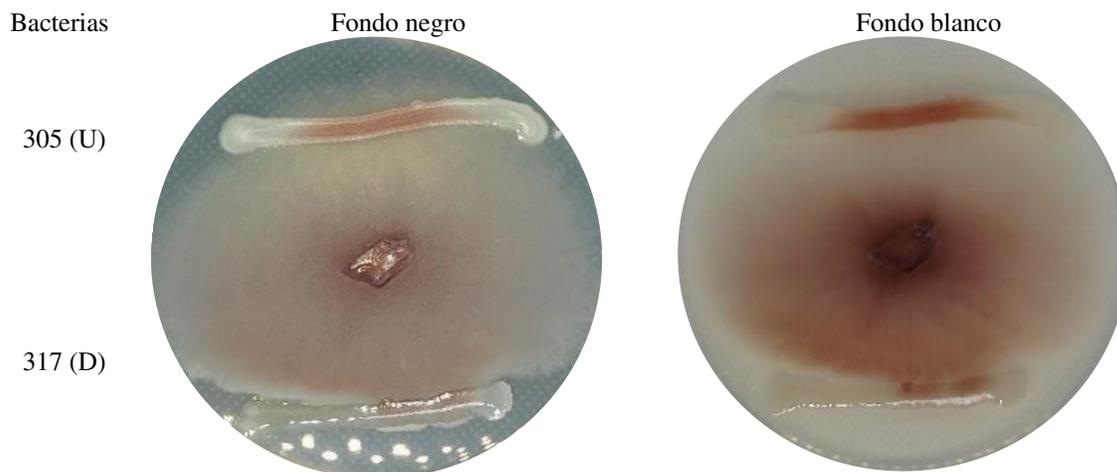


**Figura 4.75** Control del hongo *Fusarium* H-Mov2.



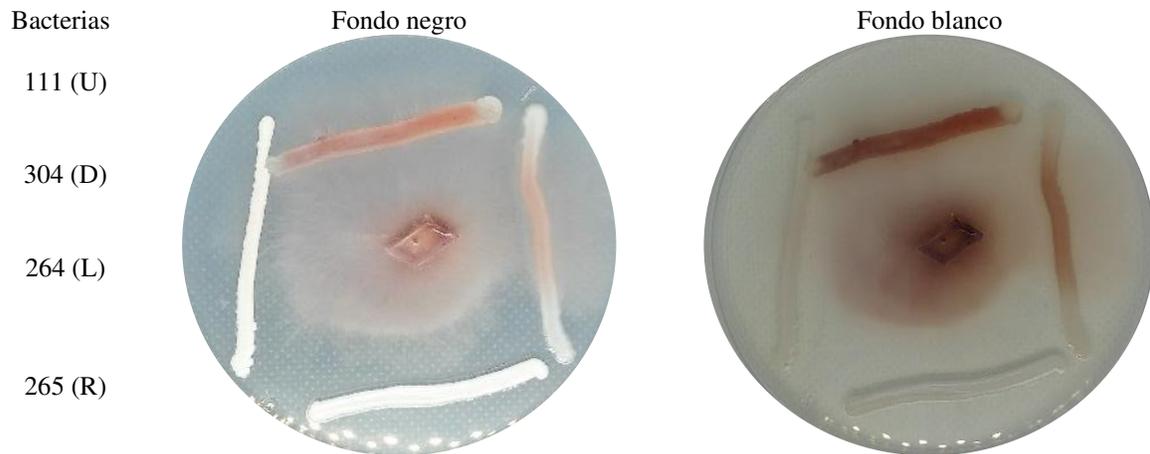
**Figura 4.76 Interacción de cepas 313(-), 275(-), 253(-) y 222(+) con el hongo *Fusarium* H-MOV2.**

Las cepas de la figura 4.77 tuvieron respuesta negativa ante la interacción con el hongo MOV2, en ambos casos se observa la inhibición, así como el antagonismo. Las cepas 305 y 317 presentaron una ligera coloración en el centro, sin embargo, en el caso de la cepa 317 se observa como detiene el crecimiento pese al contacto que tuvieron.



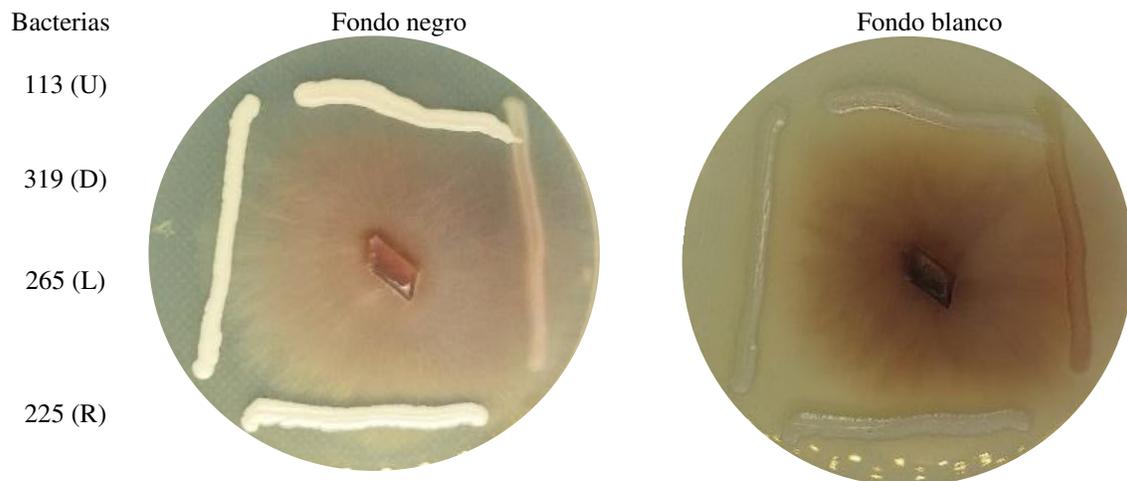
**Figura 4.77 Interacción de cepas 305(-) y 317(-) con el hongo *Fusarium* H-MOV2.**

La figura 4.78 tiene dos interacciones negativas y dos positivas. La pigmentación de las cepas 111 y 265 suele indicar que existió la liberación de ciertos compuestos volátiles en el medio. Principalmente en el fondo negro se distingue el crecimiento del micelio en el medio, así como la pigmentación de las cepas.



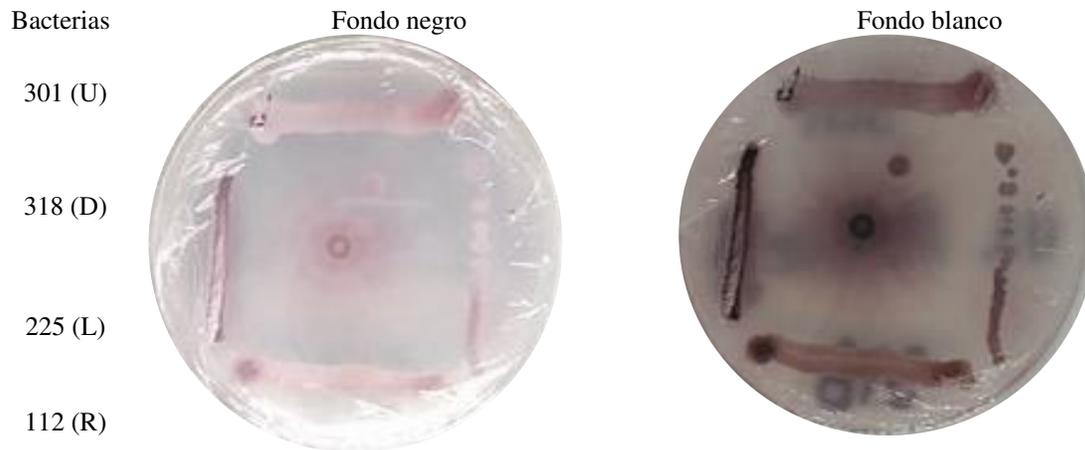
**Figura 4.78 Interacción de cepas 111 (+), 304(-), 264(-) y 265 (-) con el hongo *Fusarium* H-MOV2.**

Las cepas 113, 319 y 265 de la figura 4.79 tuvieron interacciones negativas, existió inhibición por parte de los microorganismos presentes en el medio. Por otro lado, la interacción con la cepa 225 tuvo una interacción positiva, además presentó pigmentación y en los fondos es posible observar la dirección del crecimiento de MOV2.



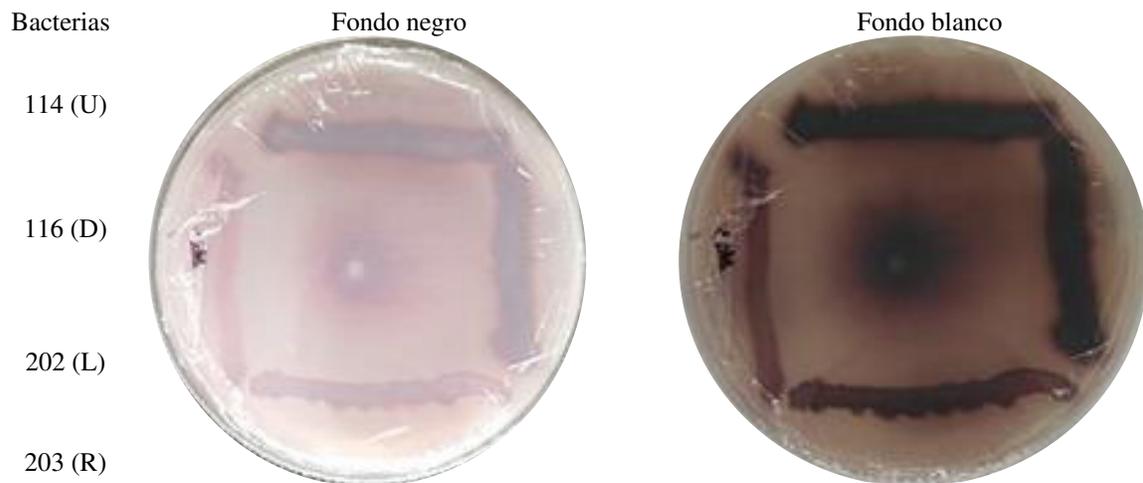
**Figura 4.79 Interacción de cepas 113(-), 319(-), 265(-) y 225(+) con el hongo *Fusarium* H-MOV2.**

Las cepas 301, 318 y 225 tuvieron interacciones positivas, MOV2 logró invadirlas, tanto en la parte superior como inferior. Lo cual sugiere que existió una interacción mutualista en el medio. La cepa 112 tuvo interacción positiva, sin embargo, logró pigmentarse, pero no permitió el crecimiento del micelio a su alrededor (Figura 4.80).

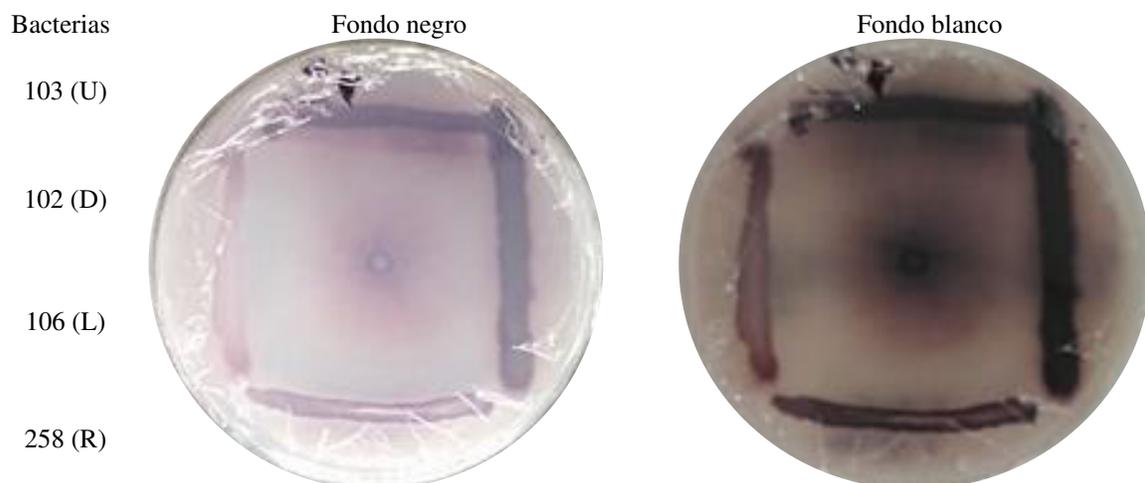


**Figura 4.80 Interacción de cepas 301(+), 318(+), 225(+) y 112(-) con el hongo *Fusarium* H-MOV2.**

En la figura 4.81 y 4.82 las interacciones fueron positivas, el micelio de MOV2 creció en todo el medio y logro pigmentar con una tonalidad vino a las cepas 114, 116, 202, 203, 103, 102, 106 y 258.



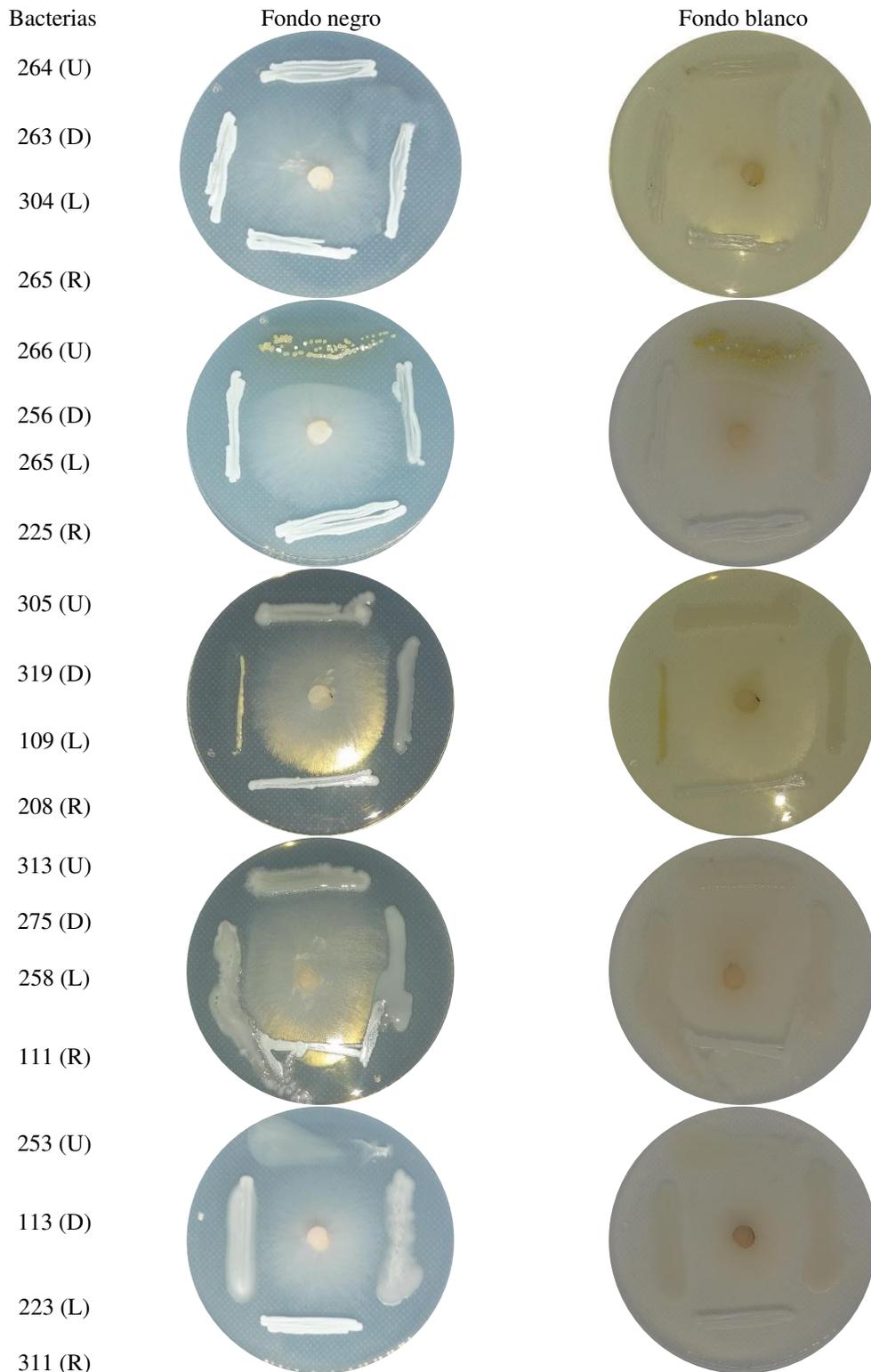
**Figura 4.81 Interacción de cepas 114(+), 116(-), 202(+) y 203(+) con el hongo *Fusarium* H-MOV2.**



**Figura 4.82 Interacción de cepas 103(+), 102(+), 106(+), y 258(+), con el hongo *Fusarium* H-MOV2.**

#### **4.2.7 *Fusarium* H-15**

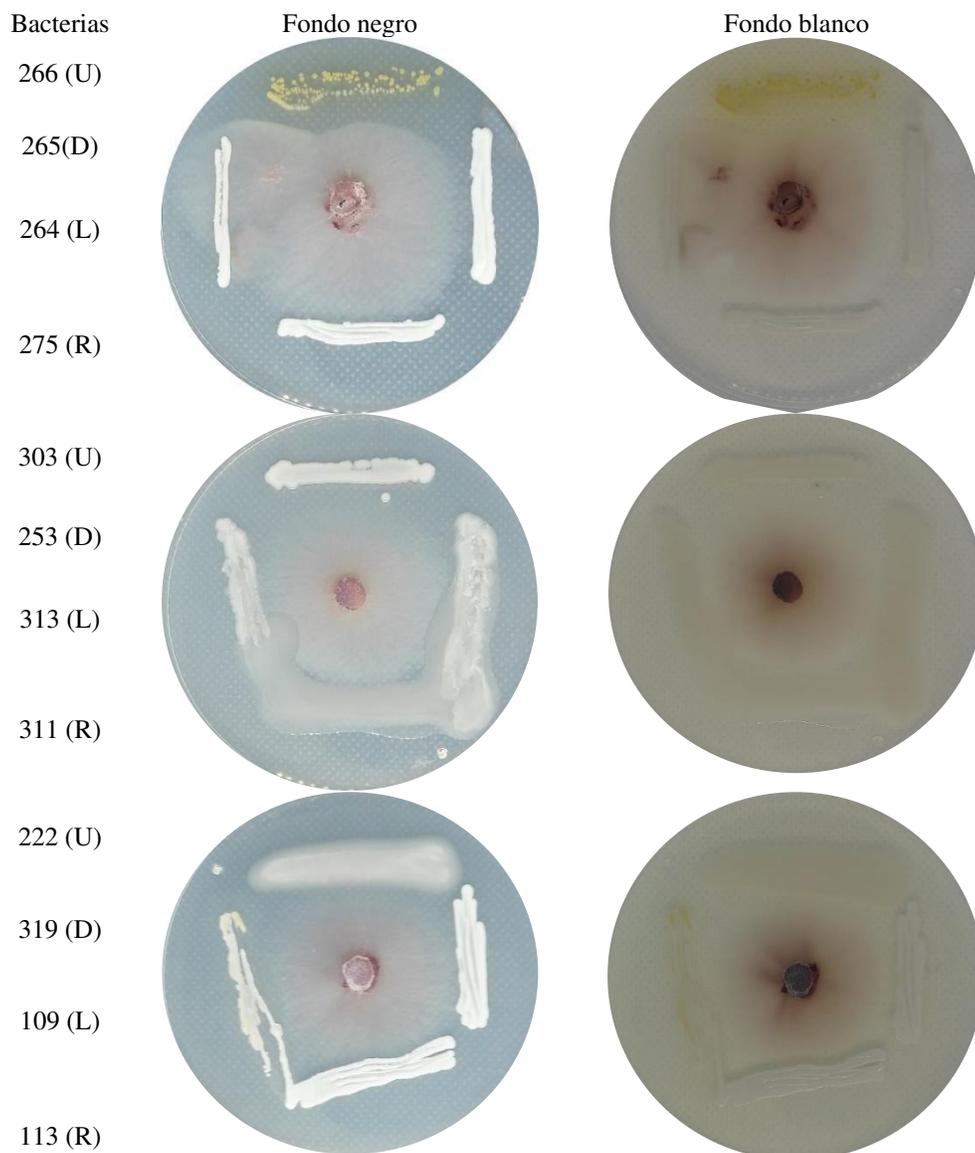
Las interacciones presentes en la figura 4.83 demostraron que H-15 tiene una afinidad inexistente con las cepas con quienes interactuó. En casos específicos como con la cepa 266, 319, 109 y 253 tuvo interacción de tipo negativo, ya que el crecimiento de H-15 fue inhibido. Las demás cepas tuvieron interacciones negativas por el antagonismo que tuvieron con el hongo. No existió pigmentación en las cepas ni en el medio, y *Fusarium* H-15 tuvo una coloración blanca en el micelio, por ello, en el fondo blanco es casi imposible ver el crecimiento.

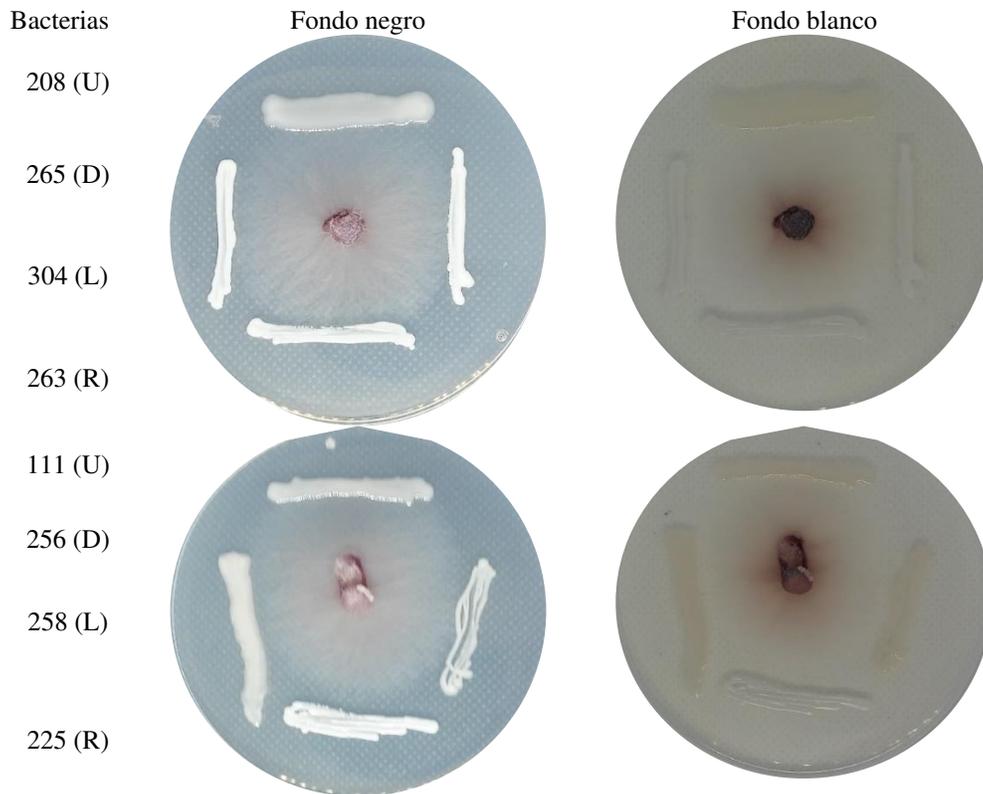


**Figura 4.83 Interacción de cepas 264(-), 263(-), 304(-), 265(-), 266(-), 256(-), 265(-), 225(-), 305(-), 319(-), 109(-), 208(-), 313(-), 275(-), 258(-), 111(-), 253(-), 113(-), 223(-) y 311(-) con el hongo *Fusarium* H-15.**

#### 4.2.8 *Fusarium* H-12

*Fusarium* H-12 tiene una coloración morada en el centro del medio, conforme se desarrollaron los micelios, la coloración se va aclarando. Las interacciones que se realizaron con H-12 resultaron ser de tipo negativo, pues en la gran mayoría de los casos, existió interacción antagonista, con excepción de la cepa 266 quien inhibió el desarrollo del micelio. La esporulación en el medio no es visible en ninguno de los dos fondos. Además, la cepa 264 fue la única cepa capaz de tener una interacción positiva, de tipo mutualista con el hongo H-12 (figura 4.84).





**Figura 4.84 Interacción de cepas 264(+), 263(-), 304(-), 265(-), 266(-), 256(-), 265(-), 225(-), 305(-), 319(-), 109(-), 208(-), 313(-), 275(-), 258(-), 111(-), 253(-), 113(-), 223(-) y 311(-) con el hongo *Fusarium* H-15.**

#### **4.2.9 *Fusarium* H-26**

Las interacciones con la cepa H-26 fueron completamente negativas, la inhibición estuvo presente en casi todas las interacciones, *Fusarium* H-26 con una coloración blanca del micelio se extendió en medio de las cepas, sin embargo, no logró expandirse, sino que su desarrollo se detuvo por los compuestos volátiles presentes en el medio, generados por las diversas cepas bacterianas. La única interacción antagonista, se dio con la cepa 265, presente en la figura 4.85.

Bacterias  
304 (U)  
113 (D)  
222 (L)  
275 (R)

Fondo negro



Fondo blanco



Bacterias  
256 (U)  
266 (D)  
225 (L)  
265 (R)

Fondo negro



Fondo blanco

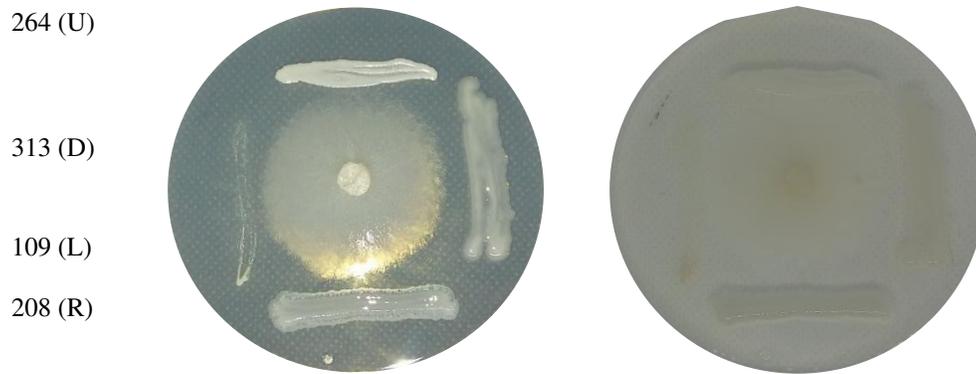


111 (U)  
258 (D)  
263 (L)  
265 (R)



319 (U)  
303 (D)  
311 (L)  
253 (R)



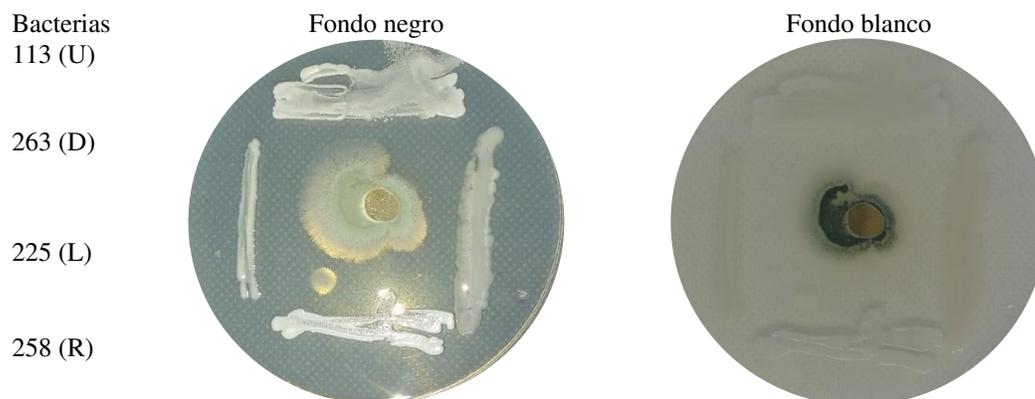


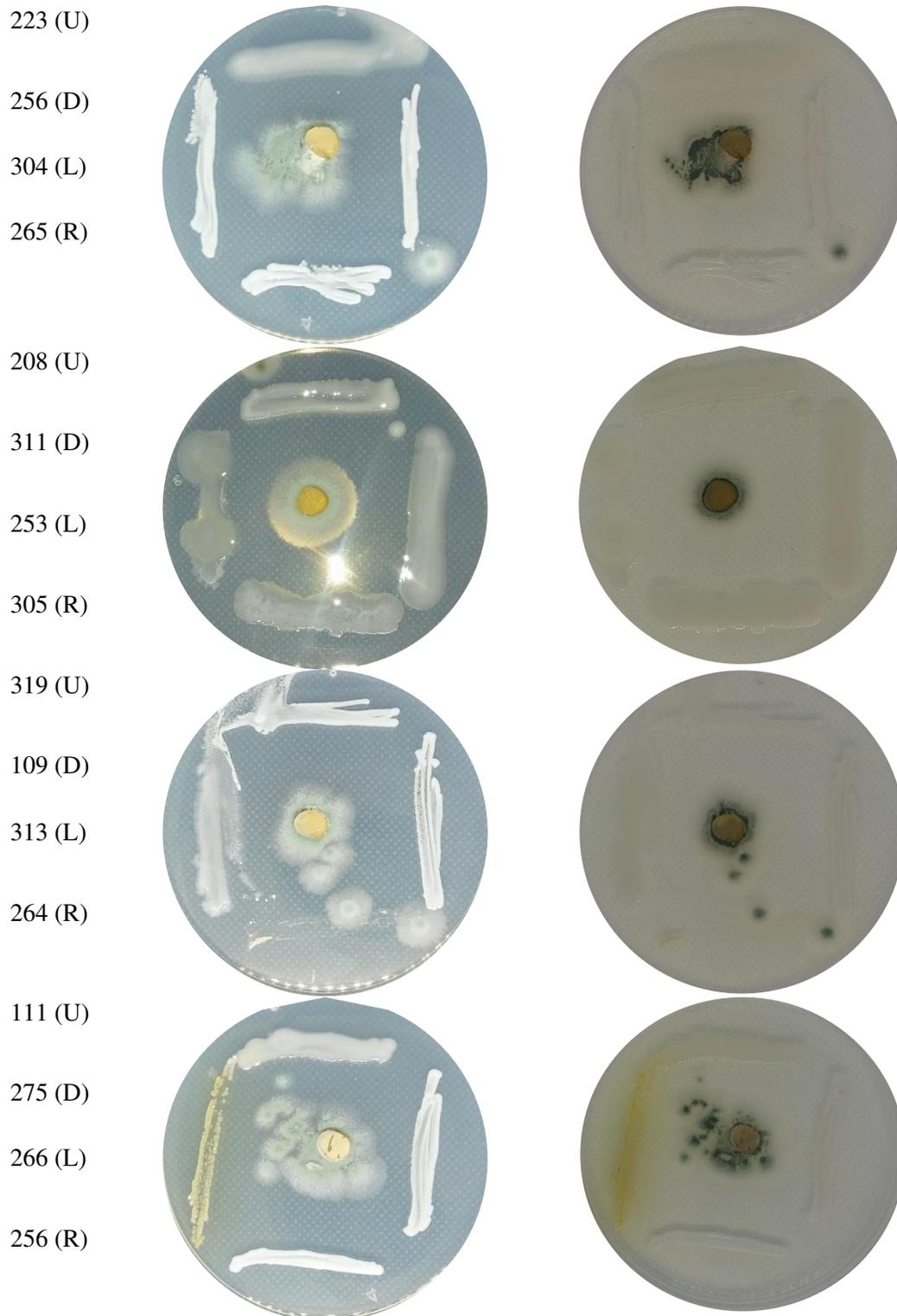
**Figura 4.85 Interacción de cepas 264(-), 263(-), 304(-), 265(-), 266(-), 256(-), 265(-), 225(-), 305(-), 319(-), 109(-), 208(-), 313(-), 275(-), 258(-), 111(-), 253(-), 113(-), 223(-) y 311(-) con el hongo *Fusarium* H-15.**

### 4.3 *Penicillium*

#### 4.3.1 *Penicillium* H-V816

La cepa V816 fue caracterizada como *Penicillium*, en control se observó su peculiar color verdoso, así como la abundante esporulación. Este hongo mostró comportamiento negativo en las interacciones presentes en la figura 4.86, pese a la visible esporulación del hongo, el desarrollo e interacción no fueron posibles. Por ello, tras la evidente inhibición, éstas interacciones se consideraron negativas, cabe resaltar que el periodo de incubación se aumentó a dos semanas, sin embargo, el cambio en el desarrollo del hongo en ese periodo fue mínimo.

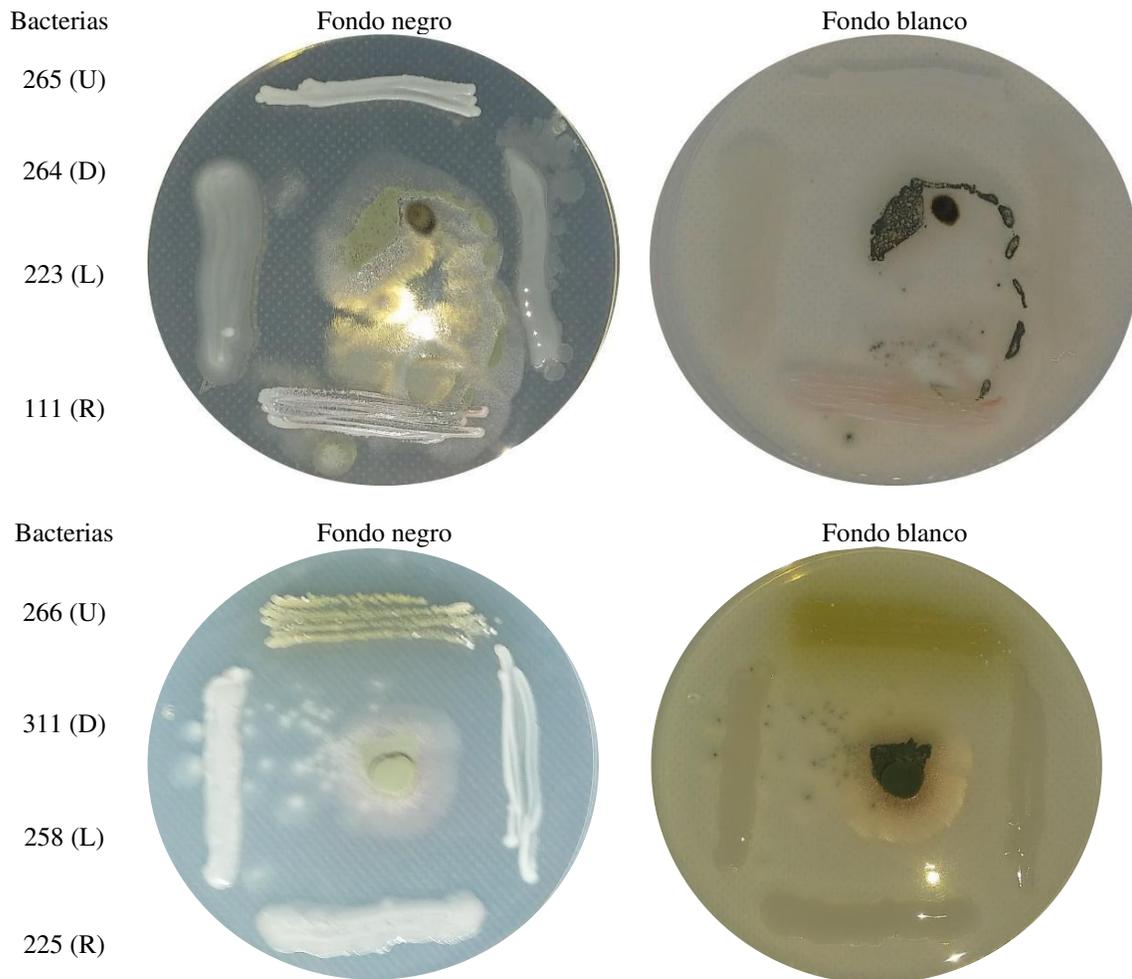




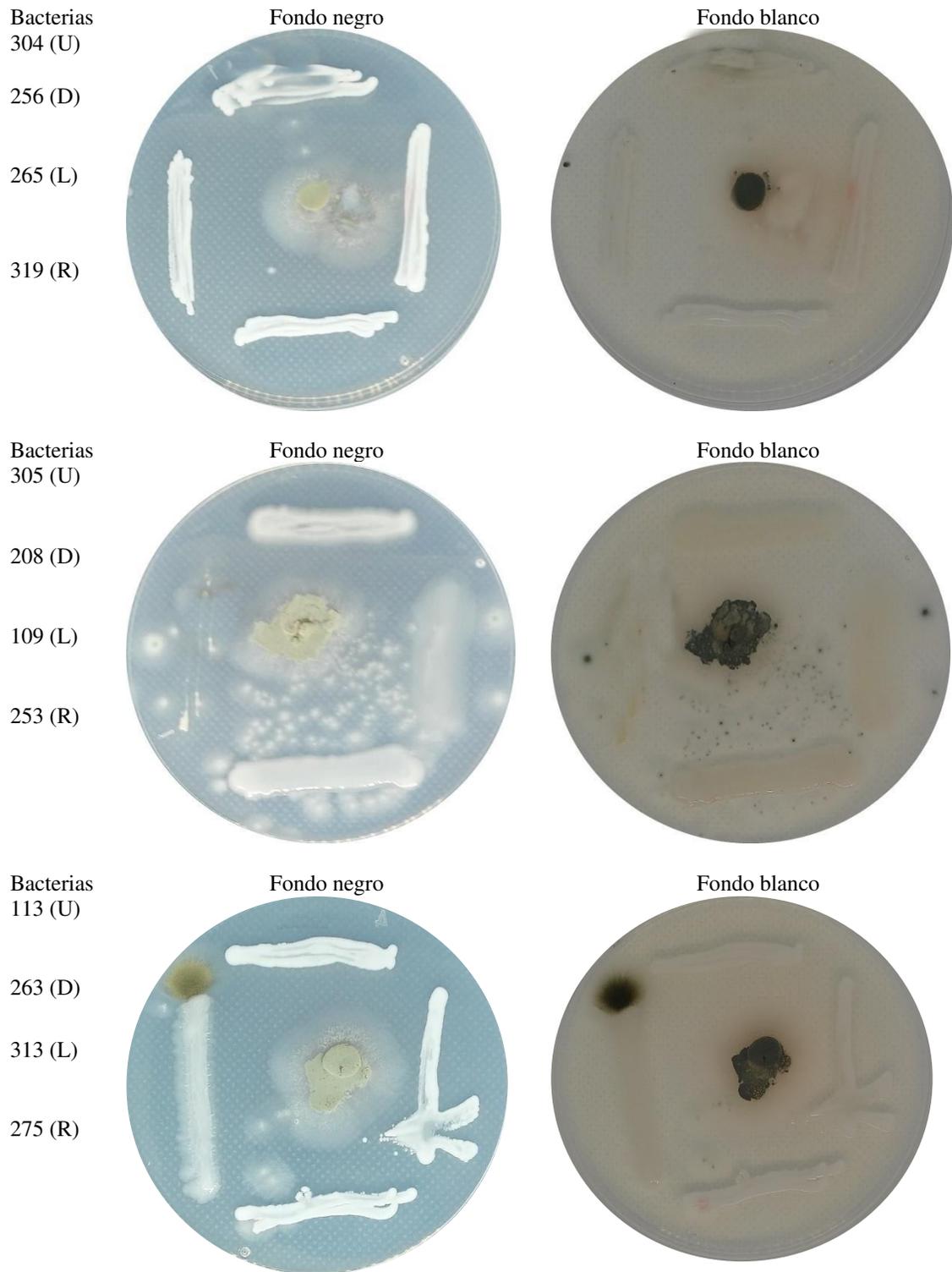
**Figura 4.86 Interacción de cepas 264(-), 263(-), 304(-), 265(-), 266(-), 256(-), 265(-), 225(-), 305(-), 319(-), 109(-), 208(-), 313(-), 275(-), 258(-), 111(-), 253(-), 113(-), 223(-) y 311(-) con el hongo *Penicillium* H-V816.**

### 4.3.2 *Penicillium* H-2

La cepa H-2 se caracterizó por la coloración verde oscuro y por la tinción rosada que generó en algunas de las cepas bacterianas como en el caso de 111 y 319. En la figura 4.87 y 4.88 se observan las cepas 258, 264, 253 y 109 que tuvieron interacción mutualista con H-2, mientras que las demás cepas tuvieron interacción negativa. Principalmente en las interacciones negativas se observa inhibición, mientras que en la cepa 208 se observa antagonismo.



**Figura 4.87** Interacción de las cepas 265(-), 264(+), 223(-), 111(-); 266(-), 311(-), 258(+) y 225(-) con el hongo *Penicillium* H-2.

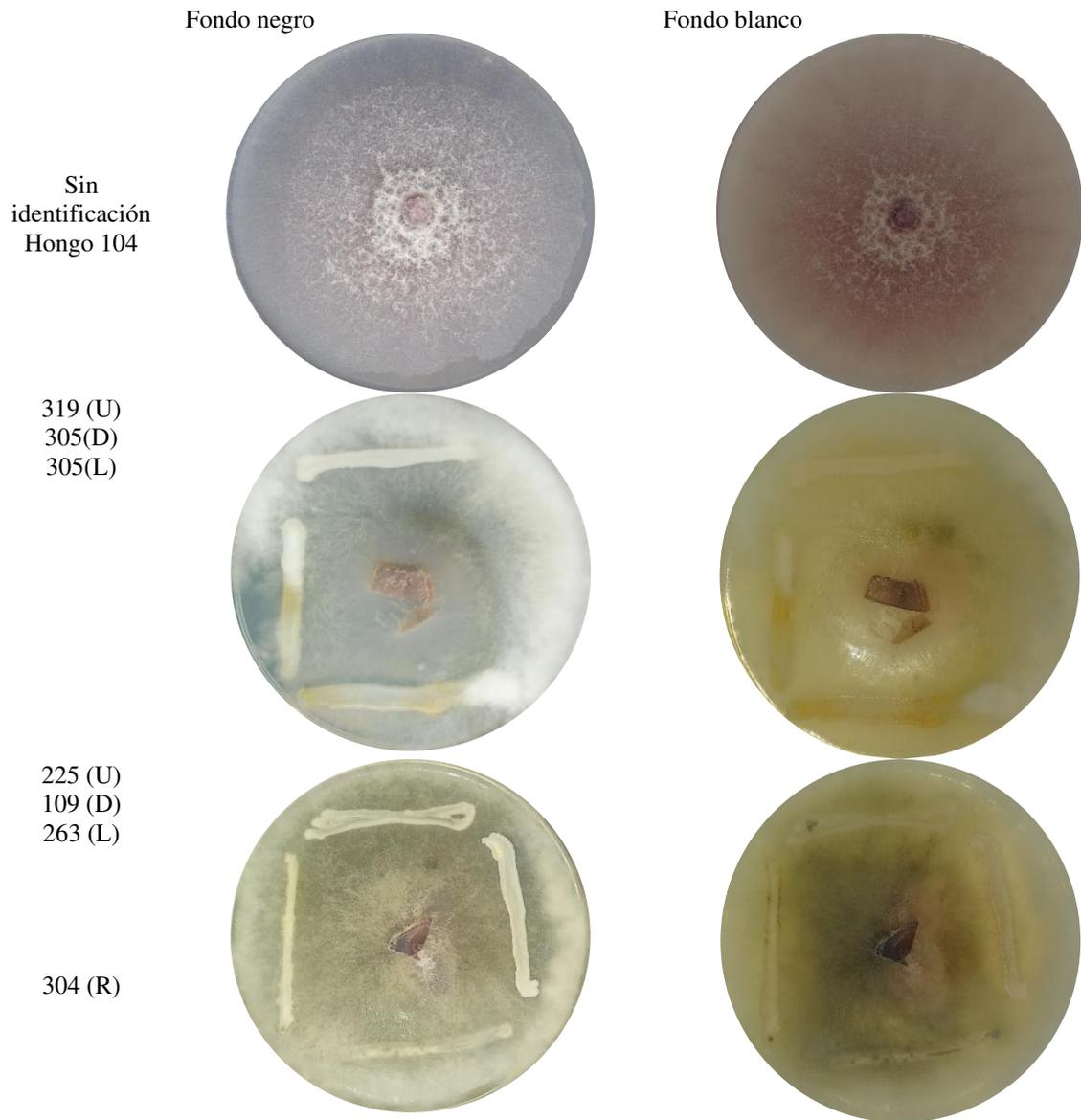


**Figura 4.88 Interacción de cepas 263(-), 304(-), 256(-), 265(-), 305(-), 319(-), 109(+), 208(-), 313(-), 275(-), 253(+) y 113(-) con el hongo *Penicillium* H-2.**

## **4.4 Sin identificar**

### **4.4.1 Sin identificar H-104**

La cepa H-104 presentó un micelio reproductivo con coloración blanquecina y un micelio vegetativo (micelio sumergido en el medio) con un color violeta como se observa en la figura 117. En comparación con el control, las interacciones mostraron grandes diferencias en la coloración del micelio. La respuesta de H-104 ante las interacciones con las cepas 319 y 305 representaron grandes diferencias respecto al control, pues como se muestra en la figura 4.89, el micelio fue totalmente blanco y la coloración en el medio fue ligeramente amarillo. Al igual que la cepa 305 quien tuvo un cambio de color al estar en contacto con el hongo. En el caso de las interacciones con las cepas bacterianas 225, 109, 263 y 304 la diferencia en el desarrollo respecto al control, también fueron considerables. Si bien, todas las interacciones fueron positivas, sin embargo, el color en el micelio varió demasiado, pues únicamente en el centro se observa el micelio violeta, pero conforme se desarrolla hacia las orillas, la coloración se vuelve gris, blanco y el medio se tiñe con un color amarillento.



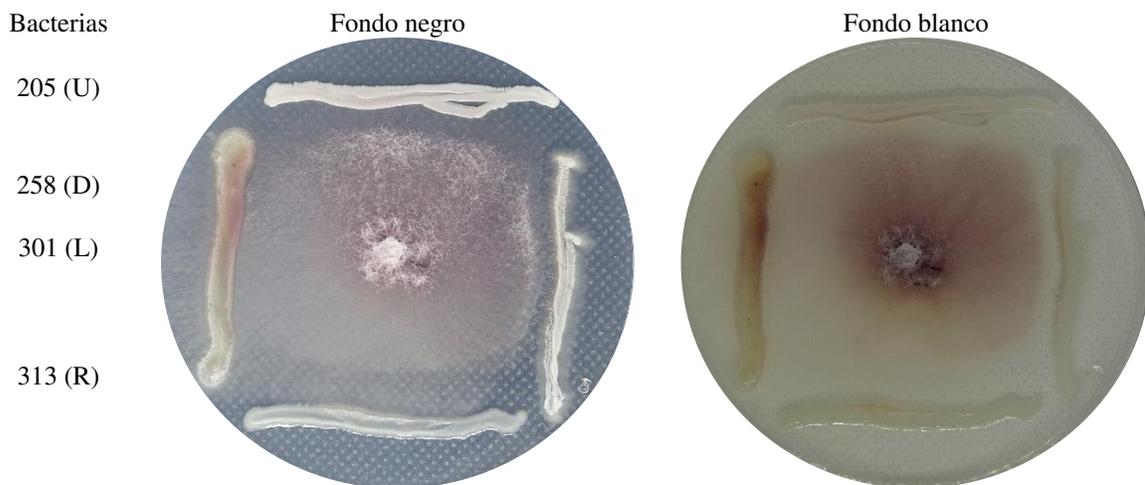
**Figura 4.89 Interacción de cepas 263(+), 304(+), 225(-), 305(+), 319(+) y 109(+) con el hongo H-104.**

Las interacciones presentes en la figura 4.90 fueron positivas, el hongo H-104 logró desarrollarse en todo el medio, formando micelio de coloración blanquecina, así como color gris. Además, logró pigmentar la cepa 111 y 317 con color gris y alrededor de estas es posible ver el micelio blanco.



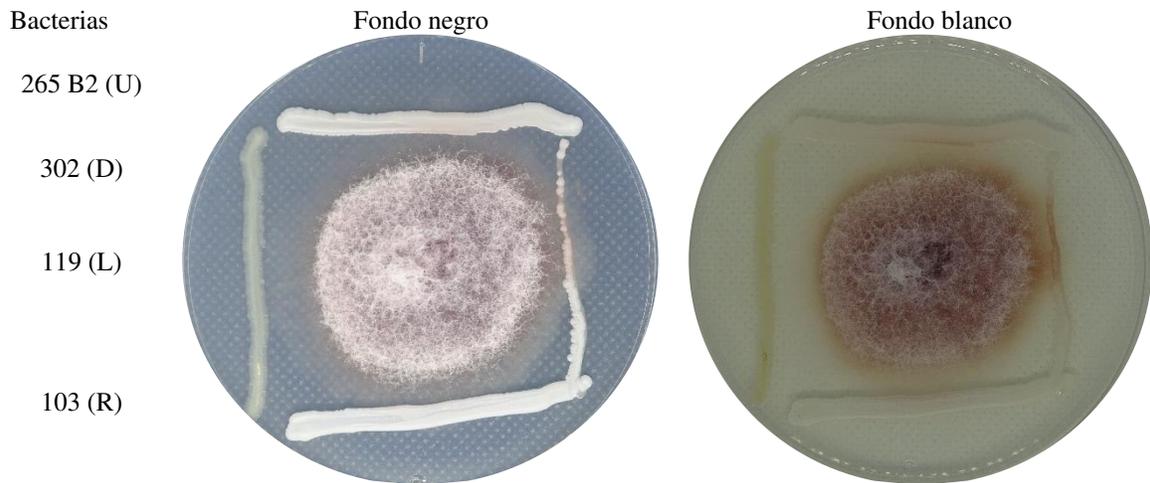
**Figura 4.90 Interacción de cepas 111(+), 317(+), 265(+) y 264(+) con el hongo H-104.**

Las cepas 205 y 313 tuvieron interacciones negativas con el hongo H-104, en la figura 4.91 es posible observar la inhibición del hongo. La cepa 258 tuvo interacción antagonista, pues en la figura 4.91 es posible observar como el micelio logra interaccionar con la cepa, sin embargo, el desarrollo se detiene. Finalmente, la cepa 301 tuvo interacción mutualista (positiva), además es posible observar la tinción de la cepa, así como el crecimiento del micelio.



**Figura 4.91 . Interacción de cepas 301(+), 313(-), 258(-) y 205(-) con el hongo H-104.**

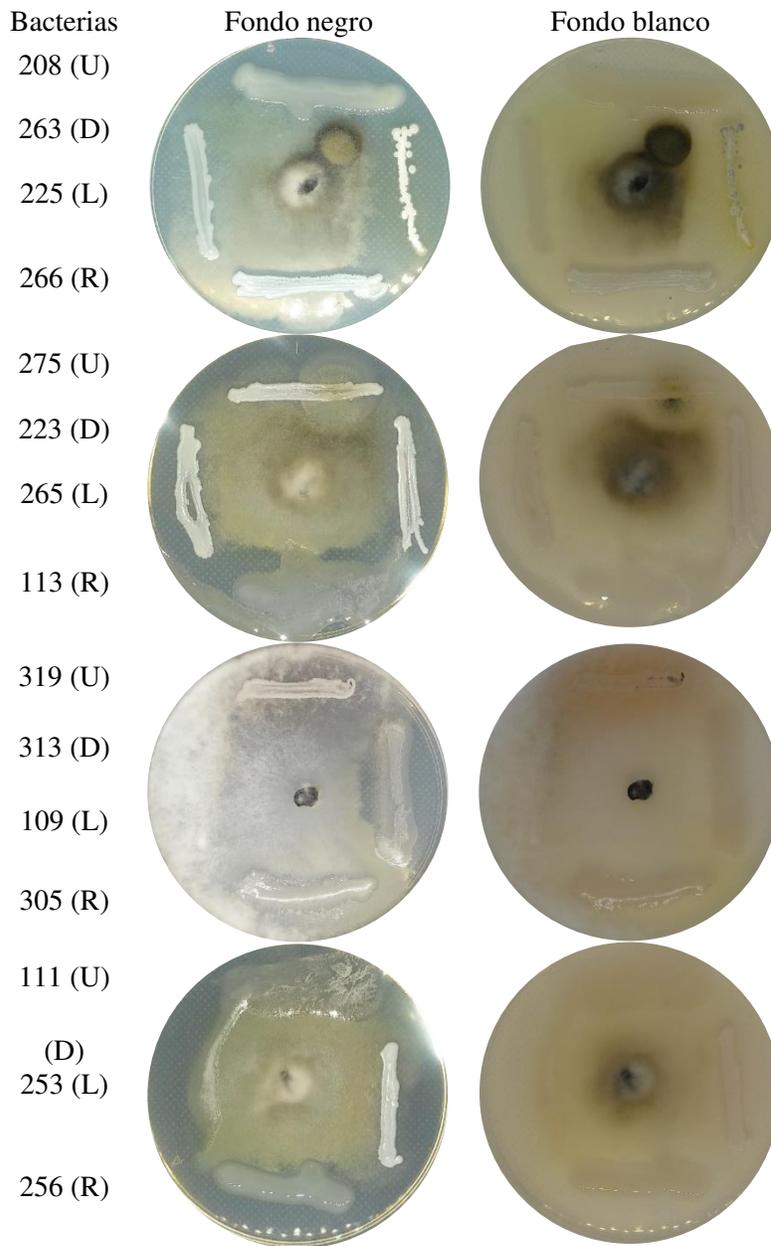
Las cepas de la figura 4.92 tuvieron interacciones antagonistas con el hongo H-104, pese a que el hongo se desarrolló en el centro de la caja, el crecimiento del micelio se vio limitado por las cuatro cepas, lo cual hace que las interacciones se clasifiquen como negativas.



**Figura 4.92 Interacción de cepas 265 B2(-), 302(-), 119(-) y 103(-) con el hongo H-104.**

#### **4.4.2 Sin identificar H-103**

EL hongo H-103 se caracteriza por su micelio con coloración gris y negro (figura 4.93). En contacto con ciertas cepas logró pigmentarlas con un color rosado. Las interacciones con el hongo H-103 tuvieron diversas respuestas, tal es el caso de las cepas 263, 225, 275, 222, 113, 319, 313, 109, 305 y 256 que tuvieron interacción positiva con el hongo. Las cepas que tuvieron interacción positiva generalmente presentaron inhibición o bien, antagonismo, como es el caso de la cepa 111.

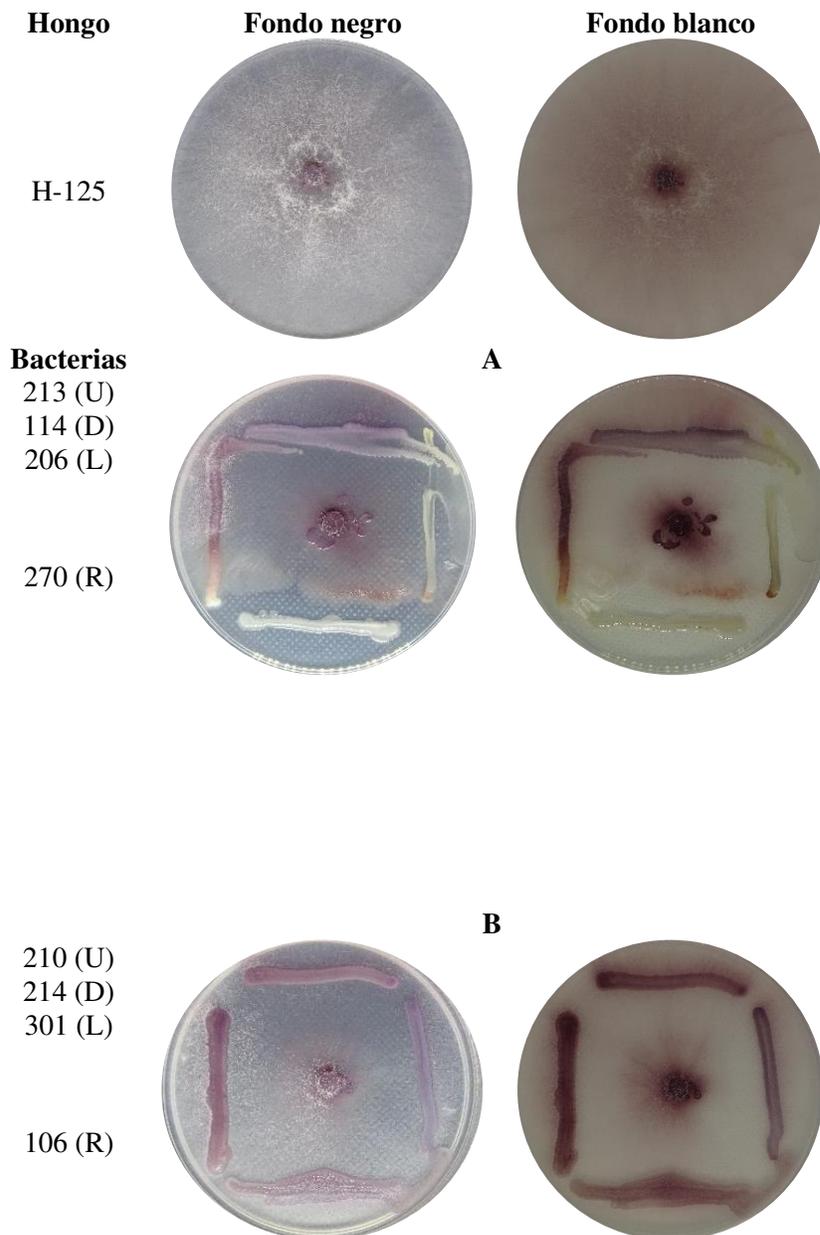


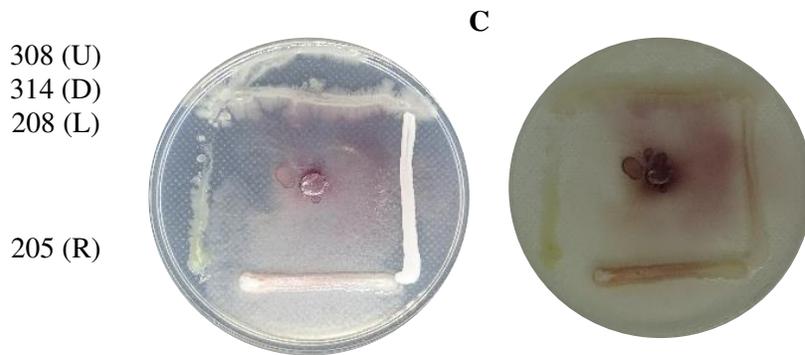
**Figura 4.93 Interacción de cepas 208(-), 263(+), 225(+), 266(-), 275(+), 222(+), 265(-), 113(+), 319(+), 313(+), 109(+), 305(+), 111(-), 253(-) y 256(+)** con el hongo H-103.

#### 4.4.3 Sin identificar H-125

El hongo H-125 es un hongo que hasta el momento no se ha identificado su especie, sin embargo, tienen características peculiares como la coloración blanca y morada en el micelio, así como en el medio PDA, como se muestra en la figura 4.94. De igual manera, en dicha figura (A) es posible observar algunas de las interacciones más representativas, como es el caso de las cepas 213, 114, 206 y 270 quienes principalmente tuvieron interacción positiva, con excepción

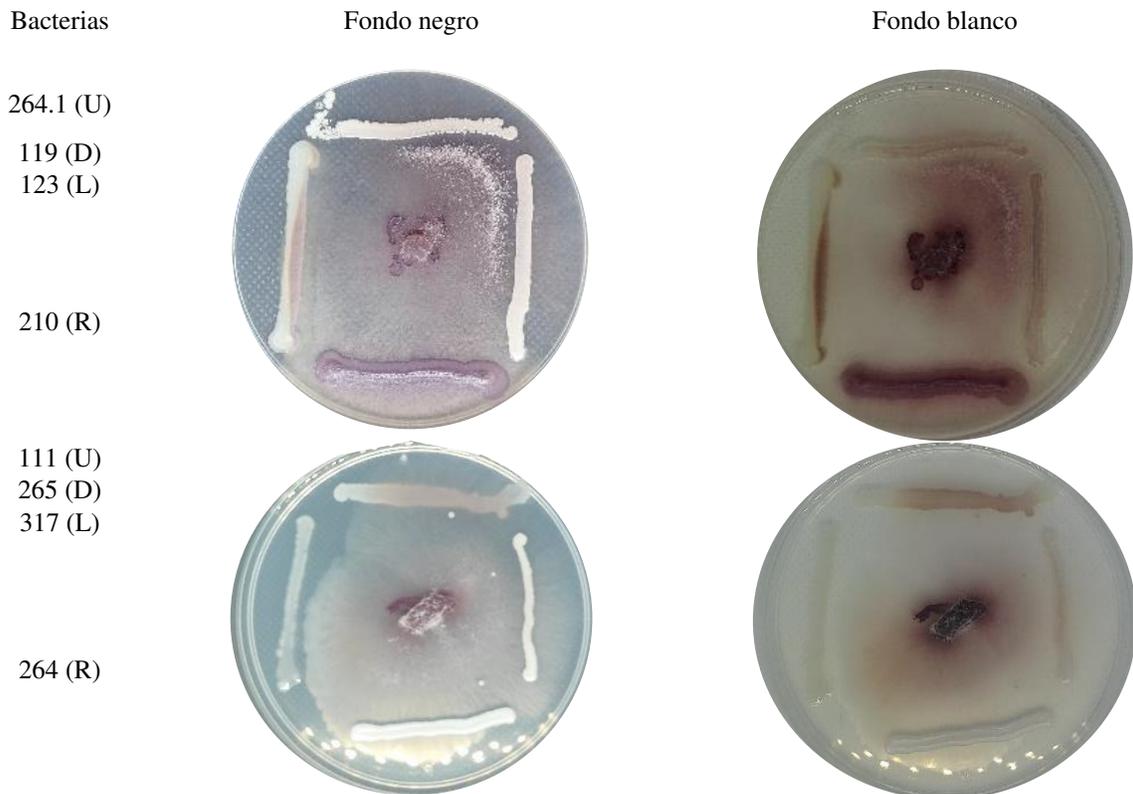
de la cepa 114 quien inhibió el crecimiento de H-125. En B con las cepas 210, 214, 106 y 301 se tuvieron interacciones positivas, además, en la figura se observa la pigmentación morada que tuvieron las cepas y la distribución del micelio presente en el medio PDA. Finalmente, en C las cepas 314 y 205 tuvieron interacción positiva con H-125, caso contrario, las cepas 308 y 208 interaccionaron de forma negativa. El comportamiento antagonista de dichas cepas (308 y 208), se distingue con mayor facilidad en el fondo blanco, gracias a que el micelio desarrollado es de coloración morada.





**Figura 4.94 Interacción de cepas 213(+), 114(-), 206(+), 270(+), 210(+), 214(+), 301(+), 106(+), 308(-), 314(+), 208(-) y 205(+) con el hongo H-125.**

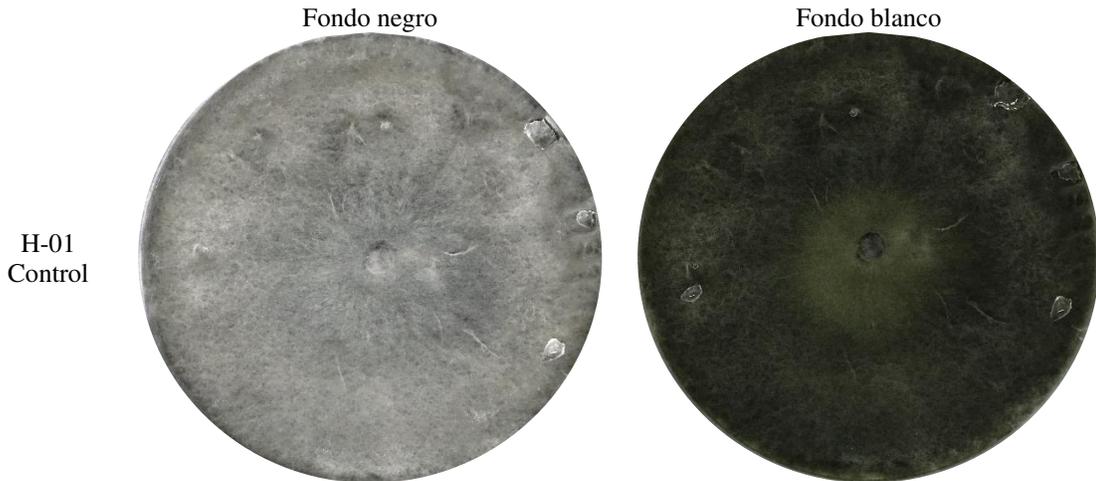
En el caso de las interacciones de la figura 4.95 se utilizaron las cepas 264.1, 119, 123, 210, 111, 265, 317 y 264. Quienes tuvieron una buena respuesta en las interacciones con el hongo H-125. El micelio se desarrolló a lo ancho de la caja, cubriéndola casi completamente con excepción de las cepas 123 y 317, quienes lograron inhibir el desarrollo de H-125. La invasión de H-125 respecto a las cepas con quienes tuvo interacción positiva, se dio de forma aérea, así como debajo de las cepas (entre el medio).



**Figura 4.95 Interacción de cepas 264.1(+), 119(+), 123(-), 210(+), 111(+), 265(+), 317(-) y 264(+) con el hongo H-125.**

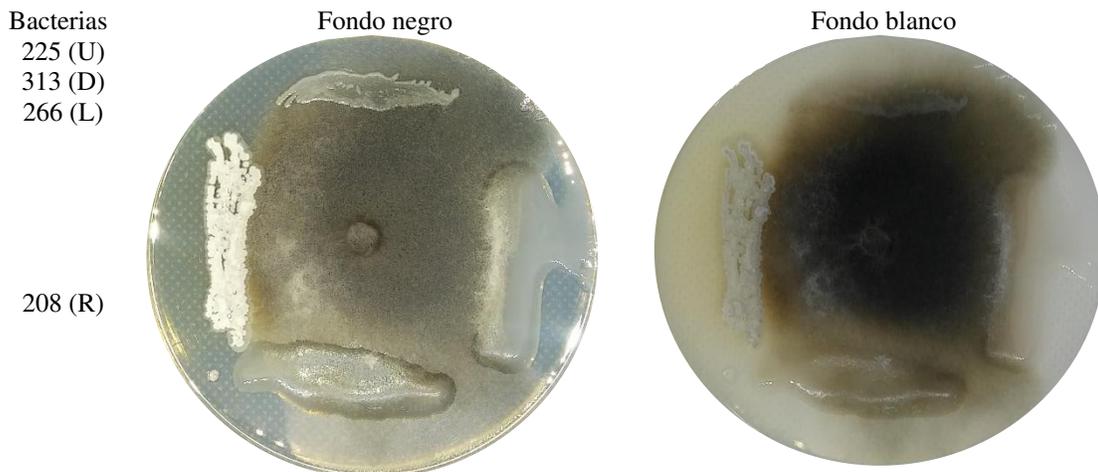
#### 4.4.4 Sin identificar H-01

El hongo H-01 tiene características en su coloración del micelio, ya que en el fondo blanco se aprecia con una tonalidad oscura, mientras que en el fondo negro, se ve el micelio con una coloración grisácea (figura 4.96).



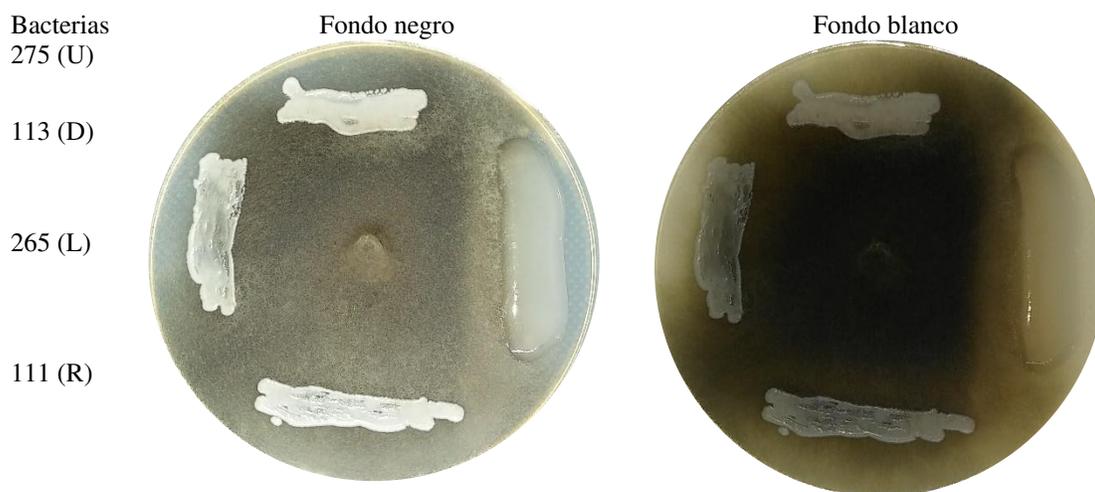
**Figura 4.96 Control del hongo H-01.**

La figura 4.97 muestra algunas de las interacciones realizadas con la cepa H-01, dichas interacciones tuvieron diversas respuestas. Tal es el caso de las cepas 225 y 313, quienes tuvieron interacciones positivas, mientras que las cepas 266 y 208 tuvieron interacciones antagonistas con H-01. En el fondo negro, es posible distinguir el crecimiento del micelio, así como la inhibición que existió con las cepas antes mencionadas.



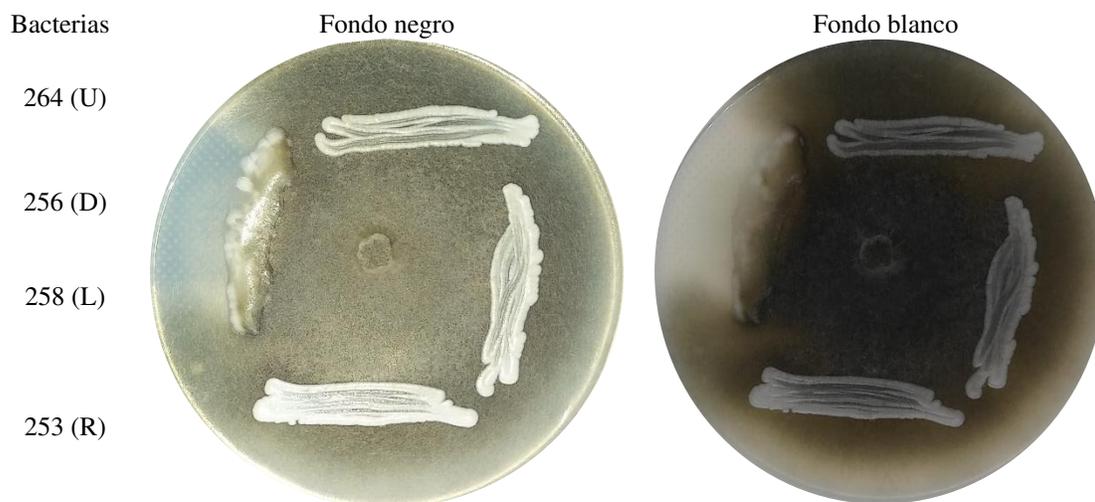
**Figura 4.97 Interacción de cepas 225(+), 313(+), 266(-) y 208(-) con el hongo H-01.**

Las cepas 275, 265 y 113 presentes en la figura 125 tuvieron interacciones positivas, si bien, el micelio creció aérea e inferiormente en el medio. Con excepción de la cepa 4.98 quien interactuó de manera antagonista con H-01. Las cepas no presentaron tinción, sin embargo, en el fondo negro es posible visualizar el micelio que creció debajo de las cepas.



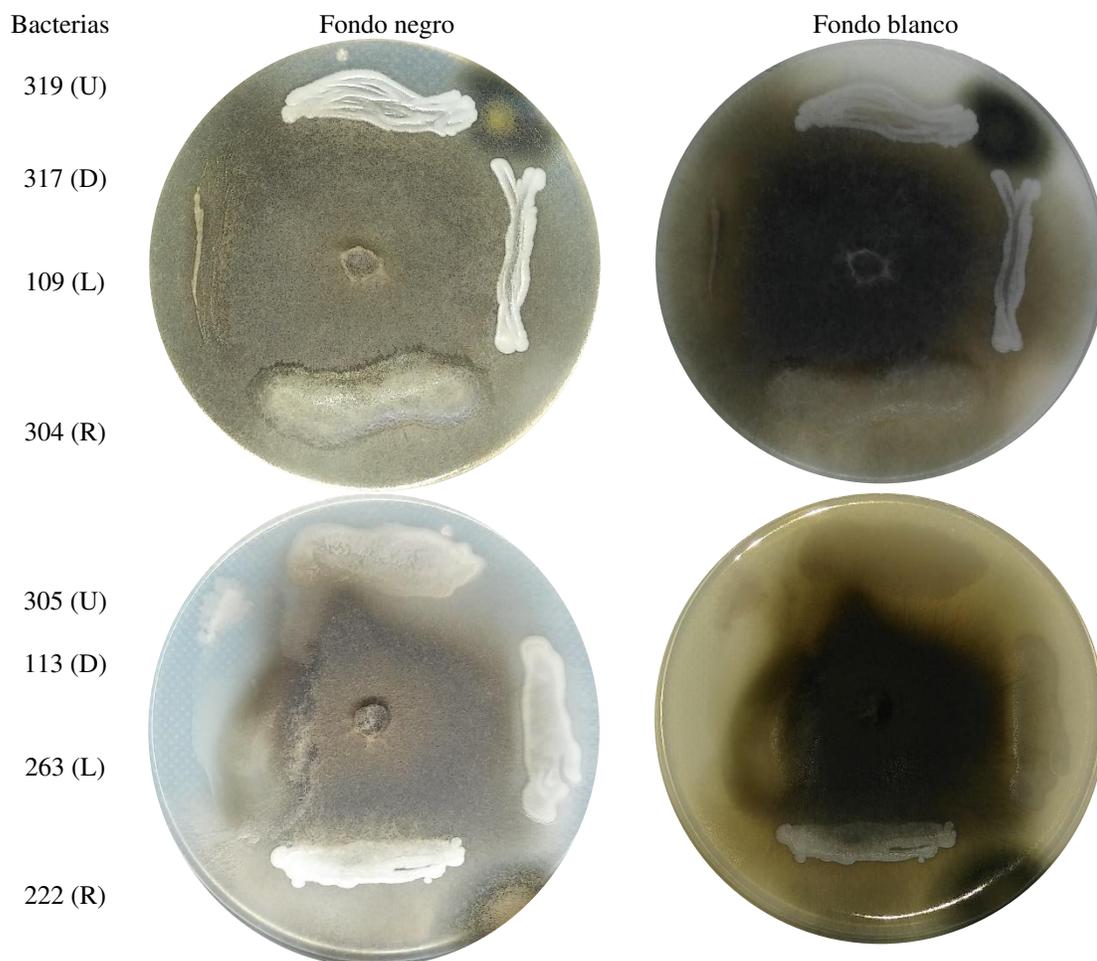
**Figura 4.98 Interacción de cepas 275(+), 113(+), 265(+), y 111(-) con el hongo H-01.**

Las cepas 264, 256 y 253 tuvieron interacción positiva con H-01, en la figura 4.99 se observa como el micelio logró crecer en casi todo el medio, sin embargo, existió la excepción de la cepa 258 quien tuvo interacción negativa, pues en ambos fondos se distingue que H-01 no fue capaz de desarrollar el micelio alrededor de esta cepa, sino, 258 generó resistencia, por lo que se clasifica como interacción antagonista (negativa).



**Figura 4.99 Interacción de cepas 264(+), 256(+), 253(+), y 258(-) con el hongo H-01.**

La figura 4.100 cuenta con 8 interacciones, de las cuales, cuatro de ellas fueron positivas, tal es el caso de las cepas 317, 109, 304 y 113. Principalmente en el fondo negro se percibe el crecimiento del micelio en el medio, así como en las cepas. Por otro lado, en el fondo blanco resalta el crecimiento del micelio debajo de las cepas con un color gris. Si bien, las interacciones negativas involucraron a las cepas 319, 305, 113 y 263, quienes mostraron un comportamiento antagonista, por ende, negativo.

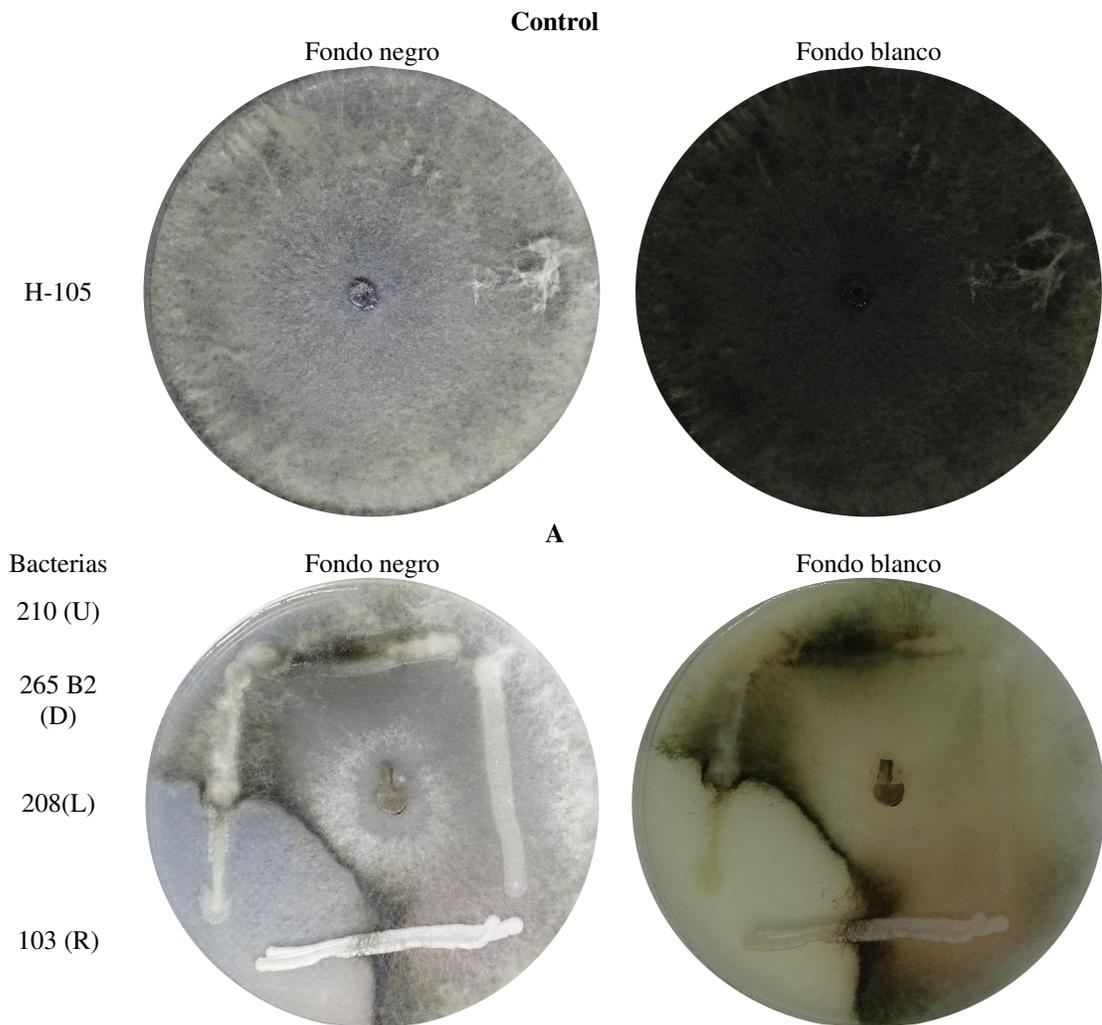


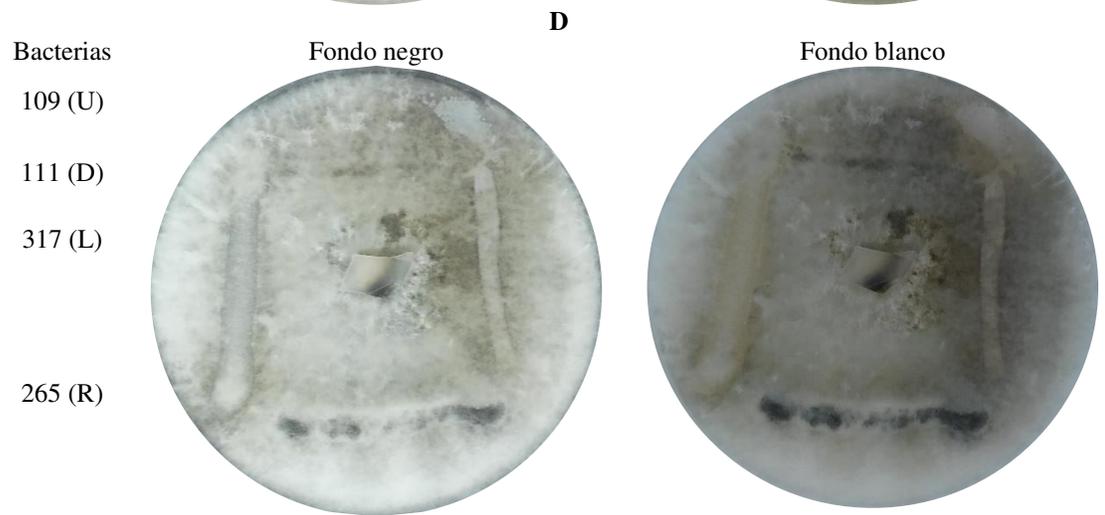
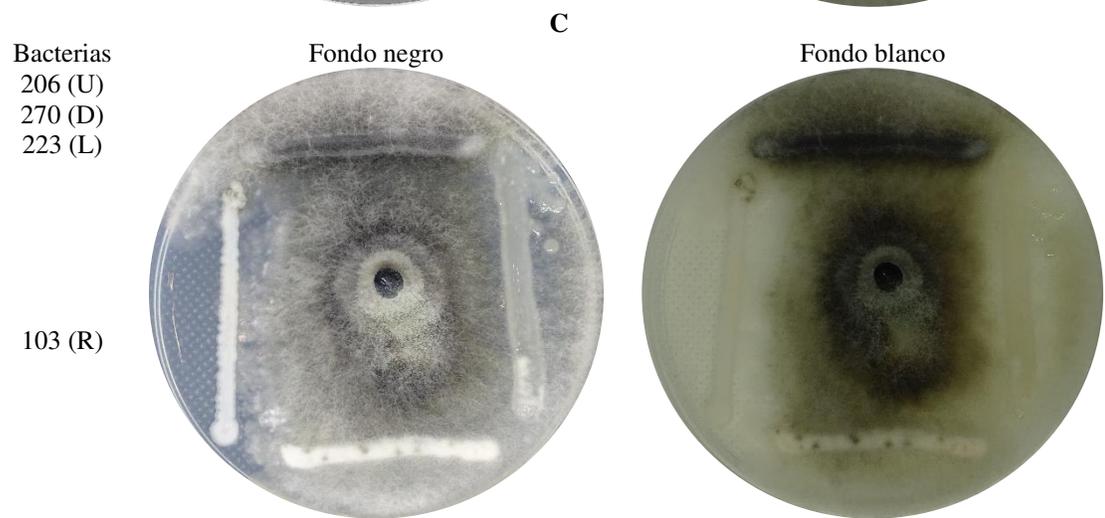
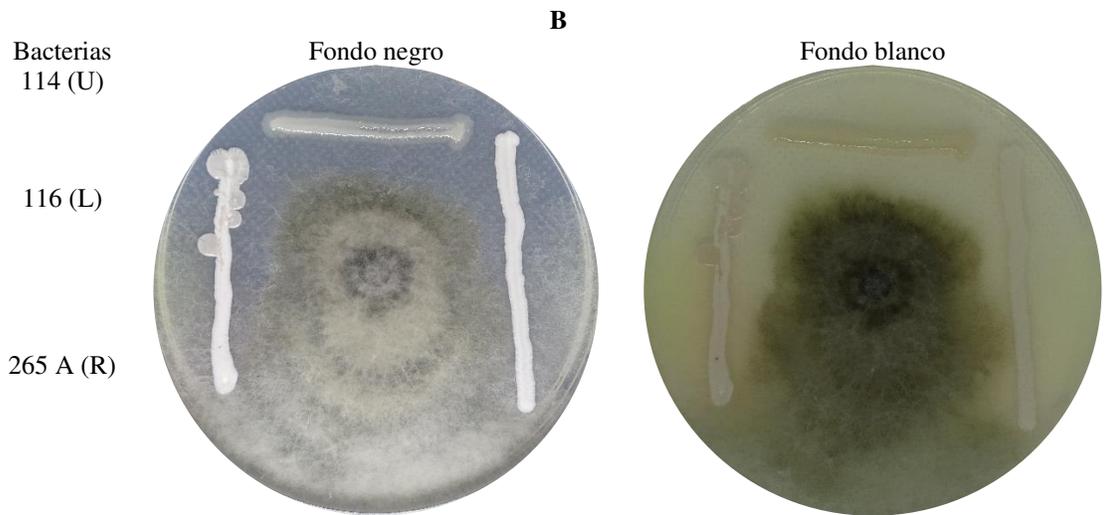
**Figura 4.100 Interacción de cepas 317, 109, 304 y 113; 319, 305, 113 y 263 con el hongo H-01.**

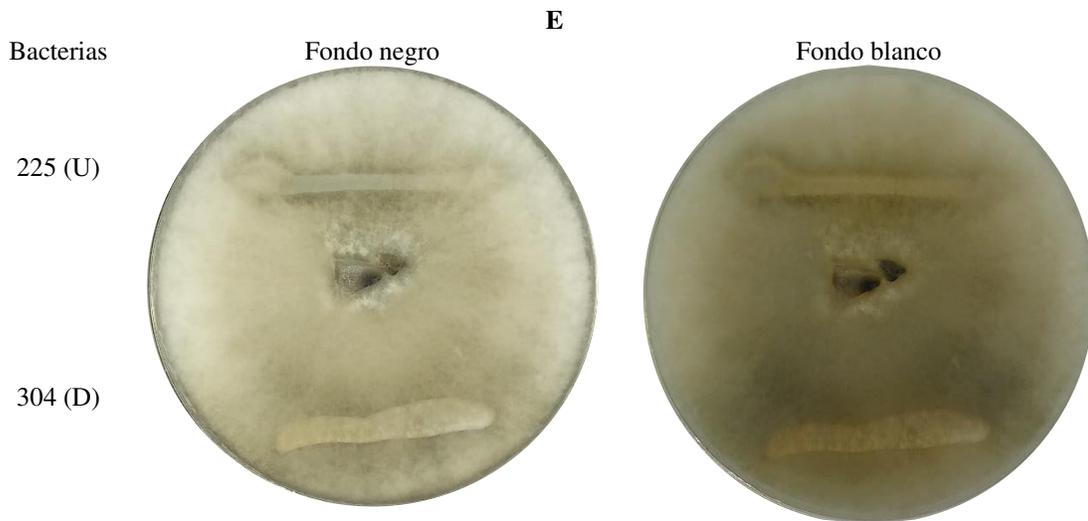
#### **4.4.5 Sin identificar H-105**

El hongo H-105 tiene una coloración oscura, el crecimiento del micelio en el control fue bastante abundante, pues cubrió completamente la caja Petri, incluso entre el medio PDA se observaba el crecimiento del micelio (figura 4.101). En la figura 4.101, A es posible observar la interacción con las cepas 210, 265 B2, 208 y 103 fueron positivas con el hongo H-105. Pese a que el micelio se tornó con una coloración más clara, logro crecer en todo el medio. En B, las

cepas 265 A y 116 tuvieron interacción positiva con el hongo H-105, si bien, el micelio creció hacia todas direcciones excepto en la dirección de la cepa 114 quien se encontraba en la parte superior de la caja. En C, las cepas 206, 103 y 270 tienen interacción positiva, en ambos fondos se observa el crecimiento del micelio a lo largo de la caja, así como la inhibición con la cepa 223. En D y E, las cepas 109, 111, 317, 265, 225 y 304 tuvieron interacción positiva con el hongo H-105, en estos casos, el micelio tuvo coloración mayormente blanca y gris. En el caso de las interacciones en D, las cepas se tornaron con una coloración oscura, mientras que, en E las cepas se tornaron con una coloración amarillenta.



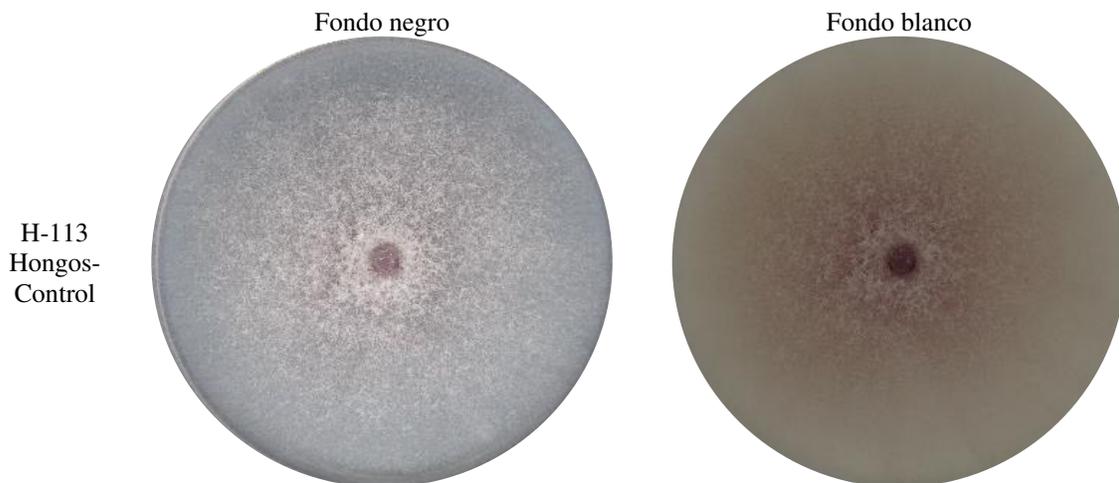




**Figura 4.101 Interacción de cepas 210(+), 265 B2(+), 208(+), 103(+), 265 A(+), 116(+), 114(-), 206(+), 270(+), 223(-), 103(+), 109(+), 111(+), 317(+), 265(+), 225(+), y 304(+), con el hongo H-01.**

#### **4.4.6 Sin identificar H-113**

El hongo H-113 es un hongo de coloración violeta con micelios de color blanco. Las cepas bacterianas 275 y 256 tuvieron una interacción de tipo mutualista, ambas cepas tuvieron un cambio de color (figura 4.102 y 4.103).

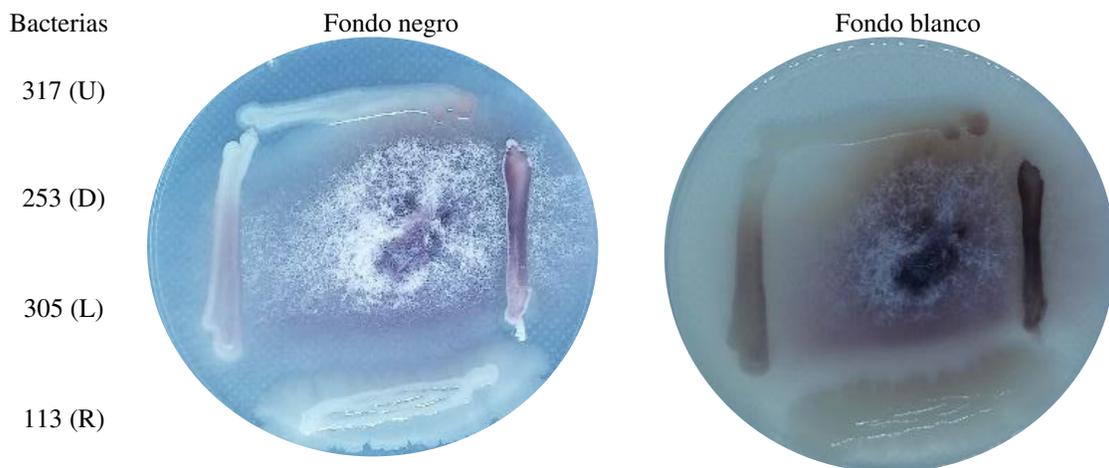


**Figura 4.102 Control del hongo sin identificar H-113.**



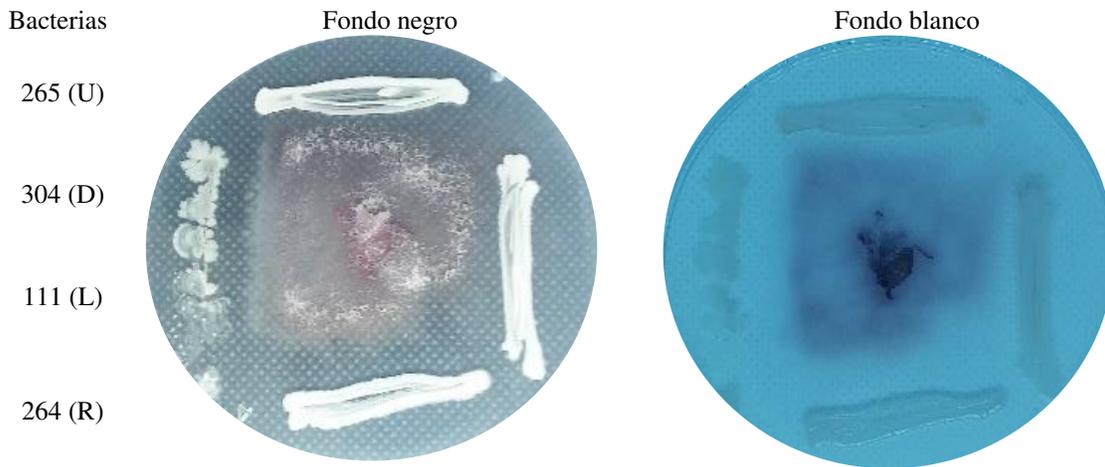
**Figura 4.103 Interacción de las cepas 275(+) y 256(+) con el hongo sin identificar H-113.**

Las cepas 317, 253, 305 y 113 (figura 4.104), tuvieron interacciones no tan favorables con el hongo H-113, con excepción de la cepa 305 y 113 que tuvieron una interacción de tipo mutualista, además, la cepa 305 tuvo un cambio de coloración de blanco a color morado. La cepa 253 presentó una invasión debajo del medio, provocando una coloración ligeramente violeta y se considera una interacción de tipo mutualista. La cepa 317 presentó una coloración violeta, aun así, se consideró interacción de tipo antagonista, debido a que el crecimiento del micelio se ve interrumpido. Por otro lado, la cepa 253 no tuvo cambio de color y la bacteria se desarrolló hacia los lados, impidiendo el crecimiento del hongo, por ello, en la figura 27 se observa una interacción antagonista.



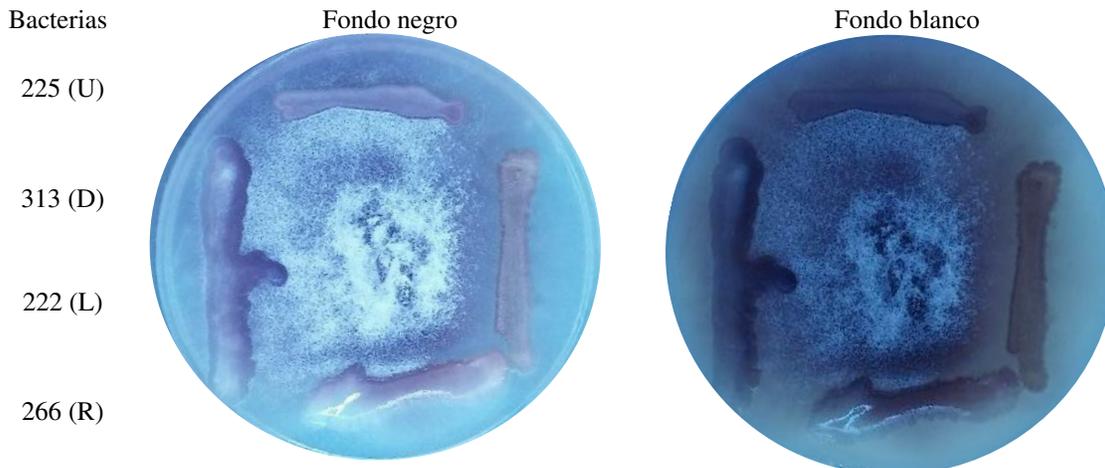
**Figura 4.104 Interacción de las cepas 317(-), 253(-), 305(+) y 113(+) con el hongo sin identificar H-113.**

Las cepas 265, 304, 111 y 264 son de tipo negativo, pues ninguna de ellas muestra afinidad con el hongo *Aspergillus* H-113 (figura 4.105).



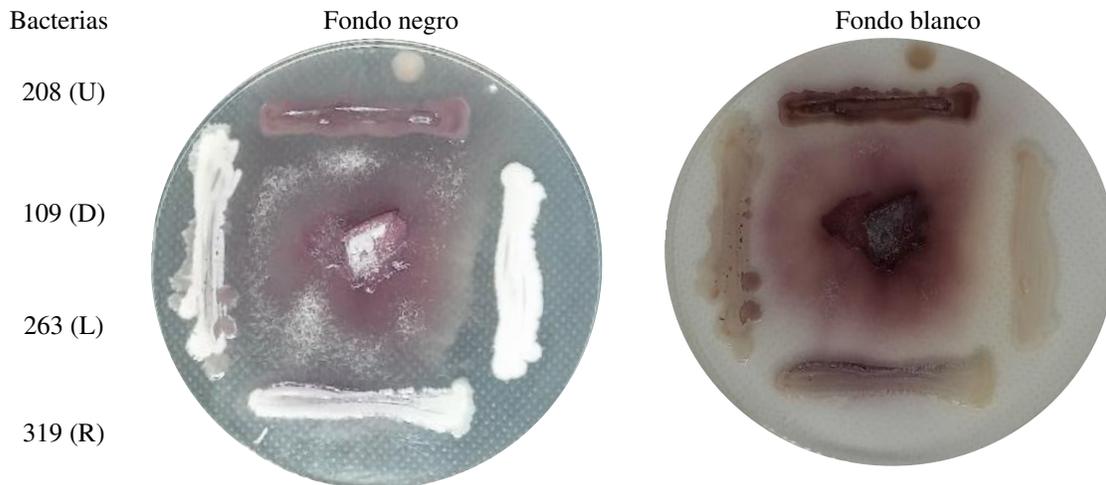
**Figura 4.105 Interacción de las cepas 265(-), 304(-), 111(-) y 264(-) con el hongo sin identificar H-113.**

La afinidad de las cepas 225, 313, 222 y 266 fue variada, es decir, las cepas 225 y 222 son interacciones mutualistas ya que, es posible observar el crecimiento del micelio alrededor de las cepas, así como el cambio en la coloración de blanco a morado. Por otro lado, las cepas 313 y 266, pese a que presentaron cambio en la coloración, el crecimiento del hongo se ve interrumpido, es decir, se ve un comportamiento antagonista (figura 4.106).



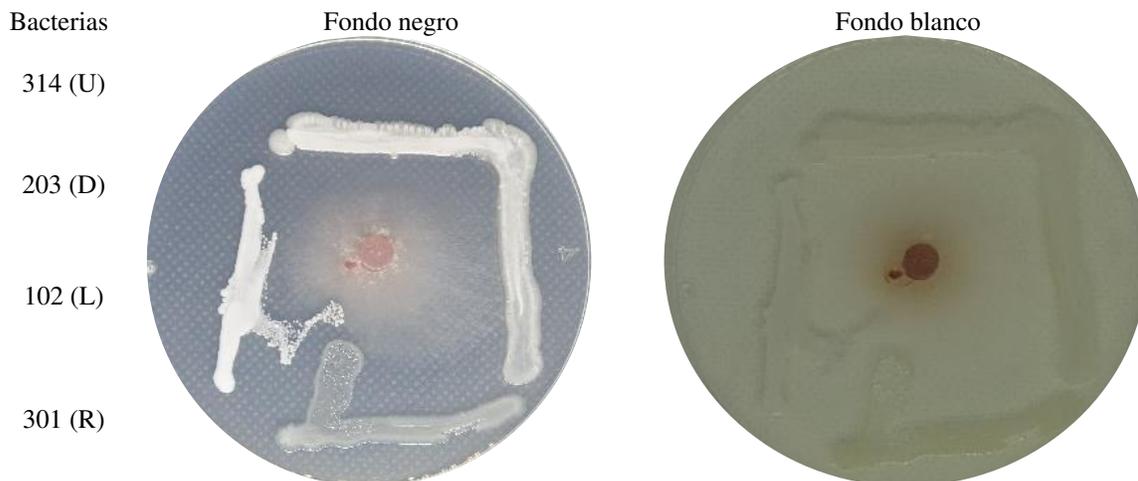
**Figura 4.106 Interacción de las cepas 225(+), 313(-), 222(+) y 266(-) con el hongo sin identificar H-113.**

Las cepas 208 y 263, presentes en la figura 4.107, presentan una interacción de tipo mutualista. Ambas cepas presentaron una coloración morada, la invasión por parte del hongo se observa por debajo de las cepas, en la parte superior no se observa el crecimiento de las hifas. Por otro lado, la cepa 263 (presenta un cambio en la coloración de blanco a morado) y 319 (no presenta un cambio en la coloración) tienen una interacción antagonista.



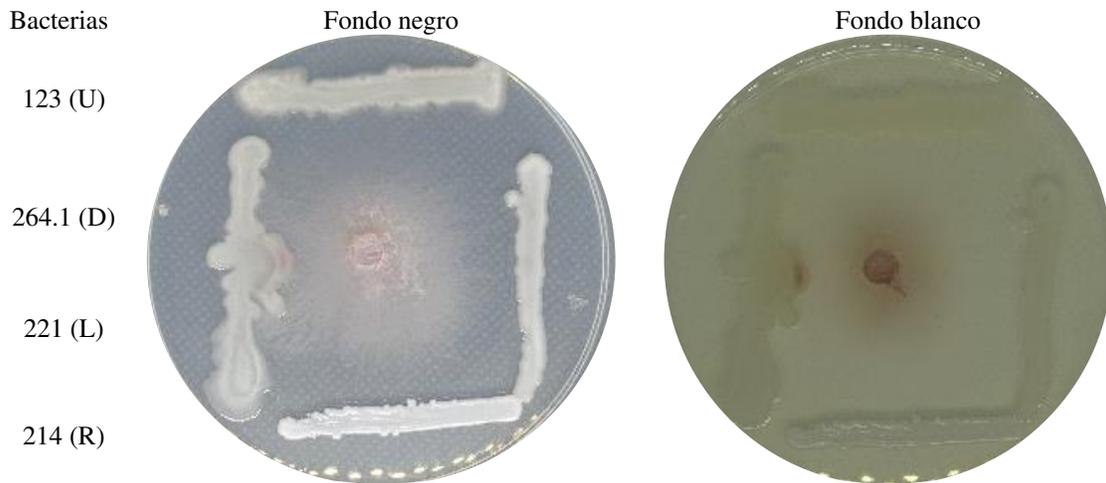
**Figura 4.107 Interacción de las cepas 208(+), 109(+), 263(-) y 319(-) con el hongo sin identificar H-113.**

En la figura 4.108 están presentes las cepas 314, 203, 102 y 301. Todas estas cepas presentaron una interacción antagonista, ninguna de las cepas presentó un cambio en el color, y mostraron crecimiento en el medio.



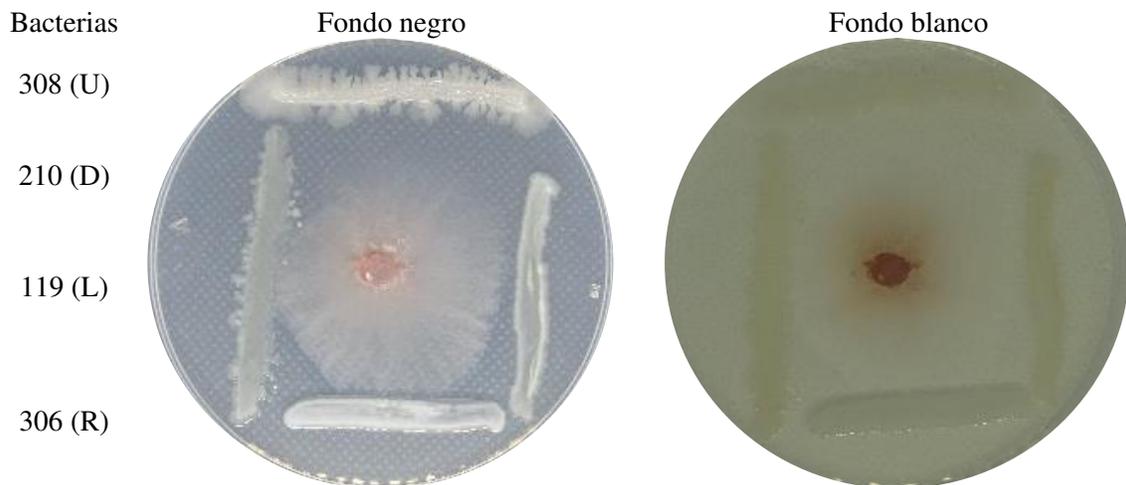
**Figura 4.108 Interacción de las cepas 314(-), 203(-), 102(-) y 301(-) con el hongo sin identificar H-113.**

Las cepas 123, 264.1, 221 y 214, presentes en la figura 4.109, presentaron interacciones de tipo negativo, ya que no permitieron el desarrollo del hongo, además, se logra ver que lograron crecer en el medio, lo cual indica un comportamiento principalmente antagonista.



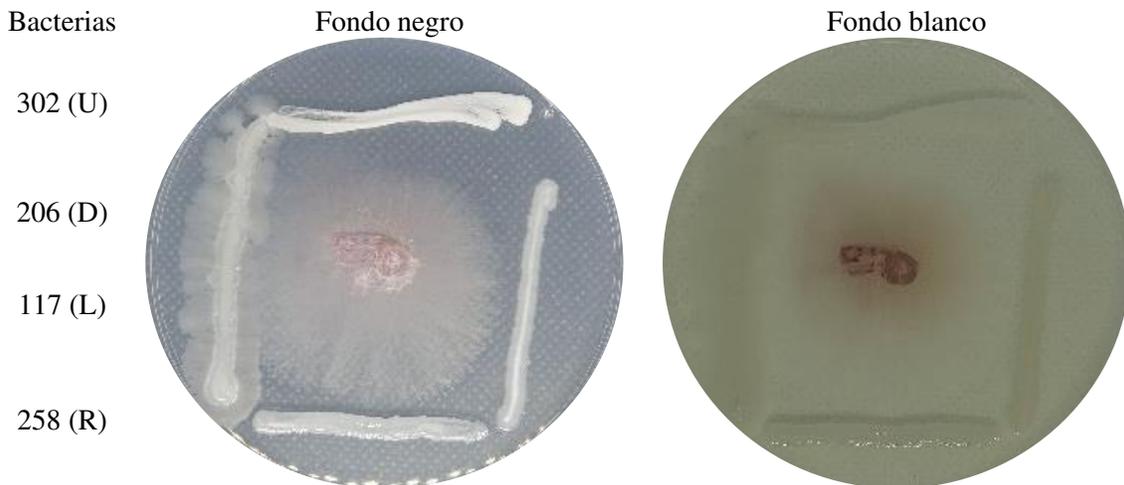
**Figura 4.109 Interacción de las cepas 123(-), 264.1(-), 221(-) y 214(-) con el hongo sin identificar H-113.**

Las cepas 308, 210, 119 y 306 tuvieron interacciones de tipo negativo con el hongo *Aspergillus* H-113 (figura 4.110). Además, en el fondo negro, es posible visualizar el comportamiento de las cepas 308 y 119, que presentaron un cambio en la morfología, si bien, muestran resistencia ante el hongo H-113.



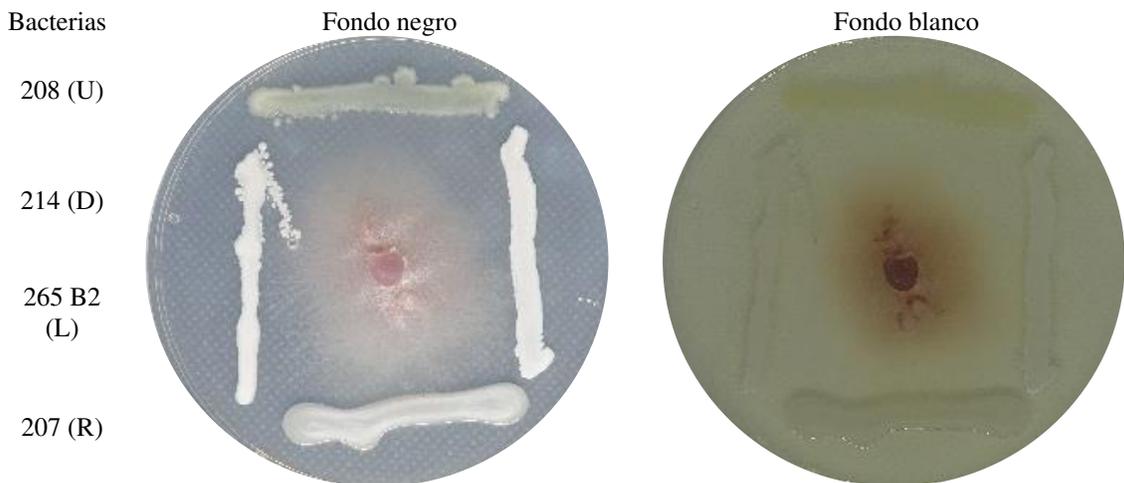
**Figura 4.110 Interacción de las cepas 308(-), 210(-), 119(-) y 306(-) con el hongo sin identificar H-113.**

Las interacciones en la figura 4.111, son de tipo negativo, en la cepa 111 es posible visualizar una interacción antagonista. En el caso de la cepa 302, 206 y 258 se observa una inhibición.



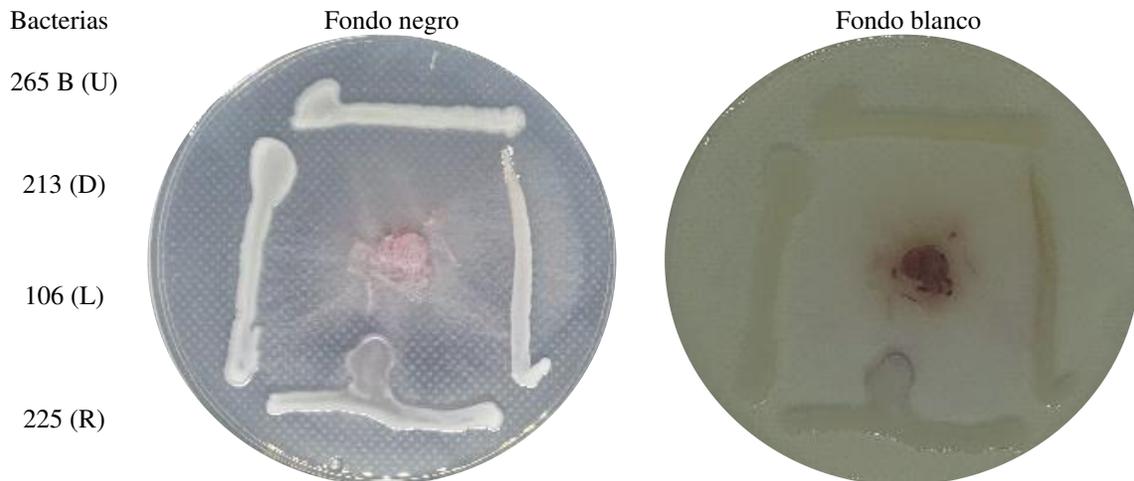
**Figura 4.111 Interacción de las cepas 302(-), 206(-), 117(-) y 258(-) con el hongo sin identificar H-113.**

Las cepas 208, 214, 265 B2 y 207 presentaron interacciones de tipo negativo. Se logra ver en la figura 4.112 la inhibición que se tuvo en el medio. Dicha inhibición puede ser por diversos factores, como la producción de compuestos volátiles.



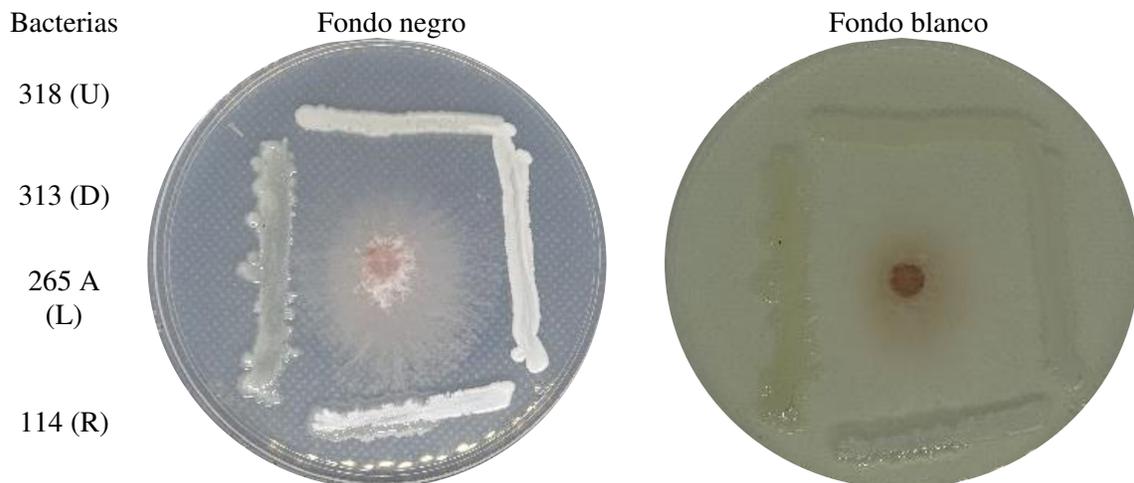
**Figura 4.112 Interacción de las cepas 208(-), 214(-), 265 B2(-) y 207(-) con el hongo sin identificar H-113.**

Las cepas 265 B, 213, 106 y 225, mayormente presentaron interacciones negativas. En el caso de la cepa 225 (no presentó cambio de color) se observa una interacción positiva y los micelios presentaron una coloración blanca (figura 4.113).



**Figura 4.113 Interacción de las cepas 265 B(-), 213(-), 106(-) y 225(+) con el hongo sin identificar H-113.**

Las interacciones de la figura 4.114 presentaron interacciones de tipo negativo. Las cepas 318, 313, 265 A y 114 mostraron no tener afinidad hacia el hongo, ya que, claramente se observa una inhibición, inclusive se ve que el color del micelio del hongo es blanco, perdiendo la tonalidad morada que lo caracteriza en condiciones control.



**Figura 4.114 Interacción de las cepas 318(-), 313(-), 265 A (-) y 114(-) con el hongo sin identificar H-113.**

#### 4.5 Tablas de interacciones

. En la tabla 4.1, 4.2 y 4.3 se observan las interacciones obtenidas, tanto negativas como positivas. En la tabla 4.1 los hongos que tuvieron mayormente interacción positiva con las bacterias fueron H-2, H-33, H-26, H-103, H-15, H-12, H-01, H-111, H-114, H-120, H-03,

H-105, H-125 y H-124. Es importante destacar, que tuvieron afinidad con por lo menos el 50% de las bacterias con las cuales interaccionaron, en total se obtuvieron 180 interacciones positivas.

**Tabla 4.1** Tabla de interacciones parte a

Hongos	Bacterias																		
	222	304	305	266	256	253	275	265	111	113	313	109	225	319	317	263	258	264	208
H-2	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-
H-33	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-
H-26	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
H-103	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
H-V816	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H-15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H-12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
H-01	-	+	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	+	-
H-112	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	-	-	+
H-49	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-
H-111	+	-	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-
H-114	+	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+
H-5	+	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-
H-120	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+
H-113	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+
H-3	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-
H-105	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+
H-104	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-
H-125	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-
H-124	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-
H-117	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-
H-MOV2	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
H-32	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+

La tabla 4.2 muestra menor porcentaje de interacción positiva donde se observan casos como H-112, H-111, H-120, H-3, H-124, H-MOV2 y H-32 que interaccionaron con más del 50% de las bacterias. En total, se obtuvieron 122 interacciones positivas.

Tabla 4.2 Tabla de interacciones parte b

Hongos	Bacterias																		
	221	106	207	203	313	302	265 A	265 B2	114	210	119	308	205	117	223	202	318	206	213
H-112	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+
H-49	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	+	+	-	-
H-111	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+
H-114	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-
H-5	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H-120	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	-
H-113	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H-3	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+
H-105	+	+	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
H-104	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+
H-125	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+
H-124	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
H-117	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+	+	-	+	+
H-MOV2	-	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-
H-32	+	+	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+

Finalmente, en la tabla 4.3 las cepas de hongos que tuvieron principalmente interacciones de tipo positivo fueron H-112, H-111, H-120, H-3, H-105, H-104, H-3, H-MOV2 y H-32. Si bien, al comparar las interacciones obtenidas, es posible distinguir el comportamiento no solo de los hongos, sino de ciertas cepas bacterianas que tuvieron comportamiento mayormente negativo respecto a los hongos con quienes interaccionaron, como es el caso de la cepa 264.1 que tuvo una respuesta negativa en más del 50 % de las interacciones. En total se obtuvieron 100 interacciones clasificadas como mutualistas (positivas).

**Tabla 4.3** Tabla de interacciones parte c.

Hongos	Bacterias													
	225	214	103	102	116	270	264.1	123	306	314	208	265 B	301	112
<b>H-112</b>	-	+	+	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+
<b>H-49</b>	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-
<b>H-111</b>	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+
<b>H-114</b>	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+
<b>H-5</b>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>H-120</b>	-	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+
<b>H-113</b>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>H-3</b>	+	+	-	-	-	+	-	+	+	+	-	+	+	+
<b>H-105</b>	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+
<b>H-104</b>	+	+	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+
<b>H-125</b>	+	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-
<b>H-124</b>	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-
<b>H-117</b>	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
<b>H-MOV2</b>	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-
<b>H-32</b>	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-

## CAPITULO 5

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las cepas utilizadas en las interacciones in vitro han sido estudiadas y se ha comprobado la efectividad que tienen en cuanto a los beneficios en el crecimiento de material vegetal. En este estudio, se observó el comportamiento de las cepas como una comunidad mutualista y hasta el momento no se aplicaron en modelos vegetales, por lo cual, la efectividad de cada una de las interacciones obtenidas no ha sido evaluada. Sin embargo, tras tener información del comportamiento mutualista de estos microorganismos en forma individual, es decir, en una interacción hongo-planta, o bien, bacteria planta, se espera que al estar en una interacción tripartita (hongo-bacteria-planta) el desarrollo y los beneficios sean tangibles.

En este trabajo únicamente se clasificaron las interacciones en positivas y negativas (inhibición o antagonismo), mientras que en el trabajo de Aguilar (2018) menciona que la clasificación de las interacciones que utilizaron fue: sumamente positiva, positiva, antagonista e inhibidora. Obteniendo interacciones sumamente positivas con las cepas bacterianas *Nocardia Cerradoensis* y *Bacillus* sp. con el hongo micorrízico *Thanatephorus* sp (RG26). Además, autores mencionan que las interacciones antagonistas ocurren por la competencia por los nutrientes o por el espacio que existe entre los diversos microorganismos presentes en el medio (Aguilar et al., 2018). Algunas bacterias inoculadas in vitro suelen producir COVs en el medio, a simple vista se distinguen por presentar inhibición. Además, se menciona que esta inhibición se debe a la alta concentración de metabolitos secretados por la bacteria hacia el medio de cultivo, y al recibir señales de la presencia de los metabolitos, el hongo se ve limitado en su desarrollo, provocando el crecimiento hacia direcciones en donde la concentración de estos metabolitos es menor (Macedo et al., 2011).

En los resultados obtenidos, fue posible visualizar cepas como H-114 que, en comparación con el control, la morfología del crecimiento cambió completamente, pues en el control era posible observar la esporulación en forma de anillo que iba expandiéndose a lo largo de la caja, y al momento de confrontarse con las diversas cepas bacterianas, los patrones de

crecimiento se vieron afectados. Estos cambios se observaron en los hongos H-114, H-5, H-111, H-Mov2, H-112 y H-120. El hongo H-120 del género *Aspergillus* en el control presentó un crecimiento circular que se expandió a lo ancho de la caja en forma de ondas y fue posible observar el crecimiento del micelio con una coloración blanquecina. Al estar en contacto con las cepas se observó el crecimiento del micelio, más no la esporulación con forma de ondas como en el control, aunque existieron excepciones, pues hubo casos en los que se observó la esporulación y el crecimiento del micelio como en el control. El hongo *Aspergillus* H-112 en el control no tuvo un crecimiento uniforme como en el caso de H-120, sin embargo, en el medio se observó la dispersión de las esporas y la formación de ondas. En las confrontaciones, existieron casos en los que el hongo H-112 no presentó crecimiento similar al control, sino que, principalmente se observó una dispersión desordenada de las esporas en el medio, caso similar a las confrontaciones con el hongo H-114. De igual manera, en el caso de la cepa H-104 incluso se observó el cambio de color en el medio, así como en el micelio del hongo, que pasó de tener un tono rosa a uno blanco y en algunos casos con tonalidad gris.

Estudios donde se confrontaron hongos como *R. Solani*, un hongo fitopatógeno con bacterias como *S. plymuthica*, y *S. proteamaculans* demostraron que al estar en la confrontación in vitro, *Rhizoctonia solani* reguló la expresión de genes asociados a la respuesta de estrés de las bacterias que están involucrados al metabolismo primario y secundario. El antagonismo de las confrontaciones in vitro indicó que la división celular y la regulación del procesamiento de la información genética estaban siendo reprimidas. Pues obtuvieron una regulación negativa en la transcripción, traducción, reparación y replicación del ADN al estar en presencia de las bacterias (Gkarmiri et al., 2015). Los cambios morfológicos y el crecimiento de las hifas indican estrés en el hongo. Lo cual involucra genes relacionados con la regulación de las paredes celulares y las funciones de la membrana celular. El agotamiento del ergosterol en la membrana altera la estructura y funciones del crecimiento. Además, en algunas confrontaciones se observó la inhibición del glucógeno y de la trehalosa, lo cual provoca que el hongo no tenga protección contra el estrés, se afecte la adaptación metabólica, el almacenamiento de energía y la división celular. Concluyendo que los cambios morfológicos se deben al estrés por el que pasa el hongo, lo cual a nivel bioquímico se debe a la expresión de genes relacionados a la pared celular y la membrana, pues compuestos como la quitina se ven afectados por la desactivación de genes (Gkarmiri et al., 2015).

## **CAPITULO 6**

### **CONCLUSIONES**

Las interacciones obtenidas pueden tener un lugar importante en el mercado de los bioinoculantes o bien, en la investigación, ya que, no solo pueden funcionar como una alternativa frente a los agroquímicos, sino que, tienen funciones diversas tales como la biorremediación y la mejora en la calidad del suelo. Finalmente, es importante mencionar que aún queda un camino largo en cuanto a la aplicación de los consorcios en material vegetal, entre otros estudios. Es importante que para la aplicación de los consorcios se tome en cuenta que todas las comunidades de microorganismos tienen un microhábitat peculiar que depende de la especie hospedera, tipo de raíz y la composición de los exudados radiculares. Estos factores influyen en la producción de diversos compuestos volátiles, lo que involucra el crecimiento de las plantas.

# CAPITULO 7

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguado Santacruz, G., Moreno Gómez, B., Jiménez Francisco, B., García Montoya, E., & Preciado Ortiz, R. (2012). Impacto de los sideróforos microbianos y fitosidéforos en la asimilación de hierro por las plantas: una síntesis. *scielo*, 9-21.
- Aguilar Díaz, T., Bertolini, V., Carrillo castañeda, G., Guillén Navarro, G. K., García Farjado, L. V., & Castro Chan, R. A. (2018). Rizobacterias promotoras from *Guarianthe skinneri* (Orchidaceae). *Revista de Biología tropical*, 953-968.
- Alcantara Cortes, J. S., Acero Godoy, J., Alcántara Cortés, J. D., & Sánchez Mora, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *NOVA*, 109-129.
- Badía, M. M. (2011). Quorum sensing en la asociación beneficiosa de las bacterias con las plantas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 135-143.
- Benjumeda Muñoz, D. (04 de 07 de 2017). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal: Mecanismos y aplicaciones. Sevilla, España. Obtenido de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/65140/BENJUMEA%20MU%D1OZ,%20DANIEL.pdf;jsessionid=3A8B1EE837ECB07058037B42EC3CE0E3?sequence=1&isAllowed=y>
- C. Simuco, D., C. Pérez, A., & Moreno, N. (2017). Evaluación de la actividad fungicida e identificación de compuestos orgánicos volátiles liberados por *trichoderma viride*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 63-70.
- Camacho Assef, V. (s/m de s/a). *Los antimicrobianos en la práctica médica*. Obtenido de s/n: <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/urgencia/antibioticos.pdf>
- Clay, K. (1988). Fungal Endophytes of Grasses: A Defensive Mutualism between Plants and Fungi. *Ecology*, 10-16.
- Contreras, P., Faini, F., & Rojas, M. (2001). Obtención y separación de giberelinas lactónicas producidas por el hongo *Gibberella Fujikuroi* para usarlas como estándares cromatográficos. *Boletín de la sociedad chilena de química*, 197-202.
- Criollo, P., Obando, M., Leonardo, S., & Ruth, B. (2012). Efecto de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) asociadas a *Pennisetum clandestinum* en el altiplano cundiboyacense. *Corpoica-Ciencia y Tecnología agropecuaria*, 189-195.

- Cuervo Maldonado, S. I., Gómez Rincón, J. C., Rivas, P., & Orlando Guevara, F. (2010). Actualización en Aspergilosis con énfasis en Aspergilosis invasora. *Scielo*, 131-144.
- De la Peña Lastra, S. (2019). Hongos parásitos de otros hongos. *Errotari*, 51-55.
- Del Puerto Rodríguez, A., Suárez Tamayo, S., & Palacio Estrada, D. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista cubana de higiene y epidemiología*, 372-387.
- Domínguez García, D. (2018). Interacción entre microorganismos: hongo-bacteria. *Ciencia, detrás del paper*.
- EcuRed*. (s/d de S/m de S/a). Obtenido de Aspergillus: <https://www.ecured.cu/Aspergillus>
- Espinosa Palomeque, B., Cano Ríos, P., Preciado Rangel, P., Rodríguez Ortiz, J., Moreno Reséndez, A., & Reyes Carrillo, J. (2020). *Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en la agricultura sustentable*. Chapingo: Reporte de investigación Num. 97.
- Espinosa Palomeque, B., Moreno Reséndez, A., Cano Ríos, P., Álvarez Reyna, V., Sáenz Mata, J., Sánchez Galván, H., & González Rodríguez, G. (2017). Inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. afroditá en invernadero. *Terra latinoamericana*, 169-178.
- Flórez Roncancio, V., & Aleixo Pereira, M. (2009). EL ÁCIDO ABCÍCICO ACELERA EL DESARROLLO FLORAL DE SOLIDAGO EN DÍAS CORTOS. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellí*, 4835-4841.
- Freire, E., Koch, A., & Salvador, L. (2016). Evaluación del potencial biofertilizante de consorcios de cianobacterias en pasto raygrass (*Lolium multiflorum*). *Revista Científica Ecuatoriana*.
- Frey-Klett, P., Burlinson, P., Deveau, A., Barret, M., Tarkka, M., & Sarniguet, A. (2011). Bacterial-Fungal Interactions: Hyphens between Agricultural, Clinical, Environmental, and Food Microbiologists. *MICROBIOLOGY AND MOLECULAR BIOLOGY*, 583-609.
- Gamboa Gaitan, M. (4 de Agosto de 2006). *Hongos endófitos tropicales: conocimiento actual y perspectivas*. Obtenido de scielo: <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v11s1/v11s1a01.pdf>
- Garay Arroyo, A., García ponce, B., Álvarez Buylla, E. R., Gutierrez, C., & Sánchez, M. d. (2014). La homeostasis de las auxinas y su importancia en el desarrollo de arabidopsis thaliana. *scielo*, 13-22. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/reb/v33n1/v33n1a3.pdf>
- Gkarmiri, K., Finlay, R., Alström, S., Thomas, E., Cubeta, M., & Högberg, N. (2015). Transcriptomic changes in the plant pathogenic fungus *Rhizoctonia solani* AG-3 in response to the antagonistic bacteria *Serratia proteamaculans* and *Serratia plymuthica*. *BMC Genomics*, 16:630.

- Gómez Luna, B. E., Hernández Morales, A., Herrera Méndez, C., Arroyo Figueroa, G., Vargas Rodríguez, L., & Olade Portugal, V. (2012). Aislamiento de bacterias promotoras del crecimiento de la rizósfera de plantas de guayaba (*psidium guajava*). *Revista de sociedad, cultura y desarrollo sustentable*, 97-102.
- Gordillo, J. L. (2014). *Tesis JLVG*. Salvatierra: S/N.
- Gouda, S., Rout George, K., Gitshree, D., Spiros, P., Han-Seung, S., & Jayanta Kumar, P. (2018). Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agricultura. *Microbiological Research*, 131-140.
- Hernandez Acosta, E., Ferrera Cerrato, R., Gutierrez Castorena, M. D., Rodriguez Vazquez, R., Rubiños Panta, J., & Fernandez Linares, L. (2003). Bacterias y hongos hidrocarbonuclastas de rizósfera frijol y maíz, en un suelo contaminado con petróleo. *Terra Lationoamericana*, 493-502.
- Huerta, J. H. (Abril-Junio de 2016). *¿Cómo puede una bacteria nativa del suelo proteger nuestros cultivos? El caso de la Pseudomona flourences*. Obtenido de Aventuras del pensamiento: <http://www.faciatec.uach.mx/facultad/el-caso-de-la-pseudomonas-fluorescens.pdf>
- Ingham, R., Trofymow, J., Ingham, E., & Coleman, D. (1985). INTERACTIONS OF BACTERIA, FUNGI, AND THEIR NEMATODE GRAZERS: EFFECTS ON NUTRIENT CYCLING AND PLANT GROWTH. *Ecological Monographs*, 119-140.
- Jambon, I., Thiis, S., Weyens, N., & Vangronsveld, J. (20 de Febrero de 2018). *Harnessing plant-bacteria-fungi interactions to improve plant growth and degradation of organic pollutants*. Obtenido de Tandfonline: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17429145.2018.1441450>
- Loredo Osti, C., Reyes Lopez, L., & Espinosa Victoria, D. (2004). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: una revisión. *Tierra Lationoamericana*, 225-239.
- Luján basile, S. M., Ríssola, M. G., Chindamo, M., & Manfreda, V. T. (4 de Noviembre de 2016). *Efectos de la hormona vegetal etileno en diversas especies vegetales*. Obtenido de UNICEN: <https://www.unicen.edu.ar/content/efectos-de-la-hormona-vegetal-etileno-en-diversas-especies-vegetales>
- Macedo Castillo, A., Lara Reyna, J., & Martínez Hernández, A. (2011). Rizobacterias Aisladas del Trópico Húmedo con Actividad Antagónica sobre *Colletotrichum gloeosporioides*, Evaluación Cuantitativa e Identificación Molecular. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 11-30.
- Mantilla Lara, C., & Negrete Peñata, J. (2015). Effect of bio-inoculant from microbial consortia phosphate solubilizing natives in development of pastures (*Dichantium aristatum*). *Revista colombiana de biotecnología*, 122-130.

- March Rosselló, G. A., & Eiros Bouz, J. M. (2013). Quorum sensing in bacteria and yeast. *science direct*, 353-357.
- Miransari, M. (2011). Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and soil bacteria. *Appl Microbiol Biotechnol*, 917-930.
- O. Pedraza, R., S. Texeira, K., Fernández Scavio, A., García de Salamone, I., E. Baca, B., Azcón, R., . . . Bonilla, R. (2010). Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. *Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 155-164.
- Oluwaseyi, S., R. Glick, B., & Oluranti Babalola, O. (2017). Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World J Microbiol Biotechnol*, 33:197.
- Ordóñez, N., Tupac Otero, J., & Díez G, M. (2012). Hongos endófitos de orquideas y su efecto sobre el crecimiento en *Vanilla planifolia* Andrews. *Acta Agronómica*, 82-290.
- Pérez Rojas, F., León Quispe, J., & Galindo Cabello, N. (2015). Actinomicetos Aislados del Compost y su Actividad Antagonista a Fitopatógenos de la papa (*Solanum tuberosum* spp. andigena Hawkes). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 116-139.
- Pérez Rojas, F., León Quispe, J., & Galindo Cabello, N. (2015). Actinomicetos aislados del compost y su actividad antagónica a fitopatógenos de la papa (*Solanum tuberosum* spp. Andígena Hawkes). *Revista Mexicana de fitopatología*, 116-139.
- Portela, R. (21 de Junio de 2017). *Fitohormonas: las hormonas vegetales*. Obtenido de Ciencia y biología: <https://cienciaybiologia.com/fitohormonas-las-hormonas-vegetales/>
- Quintana Obregon, E., Plascencia Jatomea, M., Gonzalez Aguilar, G., & Cortez Rocha, M. (2010). Inhibición del crecimiento de *penicillium* por presencia de aceites de *Cinnamomum*. *Revista mexicana de micología*, 72-80.
- Ramírez Gómez, M., & Rodríguez Villate, A. (2010). Señales de reconocimiento entre plantas y hongos formadores de micorrizas arbusculares. *Corpoica científica tecnológica agropecuaria*, 53-60.
- Sanchez Fernandez, R. E., Sanchez Ortiz, B. L., Sandoval Espinosa, Y., Ulloa Benitez, A., Armendariz Guillen, B., Garcia Mendez, M., & Macias Rubalvaca, M. (2013). Hongos endófitos: fuente potencial de metabolitos secundarios bioactivos con utilidad en agricultura y medicina. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*.
- Sanchez Fernandez, R., Macias Rubalcava, M., Garcia Mendez, M., Sandoval Espinosa, M., Ulloa Benitez, A., Sanchez Ortiz, B., & Armendáriz Guillén, B. (2013). Hongos endófitos: fuente potencial de metabolitos secundarios bioactivos con utilidad en agricultura y medicina. *sciencedirect*, 132-146.
- Santoyo, G., Valencia Cantero, E., Orozco Mosqueda, M., Peña Cabriales, J., & Farías Rodríguez, R. (2010). Papel de los sideróforos en la actividad antagónica de *Pseudomonas fluorescens* ZUM80 hacia hongos fitopatógenos. *sciELO*, 56-6.

- Sarabia ochoa, M., Madrigal Pedraza, R., Martínez Trujillo, M., & Carreón Abud, Y. (2010). Plantas, hongos micorrizicos y bacterias: su compleja red de interacciones. *Biológicas*, 65-71.
- Scherlach, K., Graupner, K., & Hertweck, C. (2013). Molecular Bacteria-Fungi Interactions: Effects on Environment, Food, and medicine. *Annual Review of Microbiology*, 375–397.
- Tanya Morocho, M., & Leiva Mora, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro agrícola*, 93-103.
- Tapia, C., & Amaro, J. (2014). Género Fusarium. *Retrato microbiológico*, 85-86.
- Velázquez Becerra, C., Macías Rodríguez, L., 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. *springer*, 1251–1262.
- Virgen Calleros, G. (2011). Rhizobacterias promotoras de crecimiento en las plantas. *Revista Corpoica- Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 159-166.
- Wang, X., Yam, T., Meng, Q., Zhu, J., Zhang, P., Wu, H., . . . Song, X. (2016). The dual inoculation of endophytic fungi and bacteria promotes seedlings growth in *Dendrobium catenatum* (Orchidaceae) under in vitro culture conditions. *Springer*, 523-531.
- Wilkin, D., & Brainard, J. (16 de Noviembre de 2015). *Relaciones Simbióticas de los Hongos*. Obtenido de ck-12: <https://www.ck12.org/book/CK-12-Conceptos-Biolog%C3%ADa/section/8.14/>