

# **SISTEMA DE DETECCIÓN TEMPRANA DE BOTRYTIS CINEREA EN EL ARÁNDANO BILOXI MEDIANTE TERMOGRAFÍA**

## **AUTOR(ES)**

Juan Esteban Fuentes Rojas

Gabriel Esteban Martinez Roldan

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería de Sistemas y Computación

Facatativá, Noviembre 2025

# **SISTEMA DE DETECCIÓN TEMPRANA DE BOTRYTIS CINEREA EN EL ARÁNDANO BILOXI MEDIANTE TERMOGRAFÍA**

## **AUTOR(ES)**

Directora: Ing. Gina Maribel Valenzuela Sabogal

Juan Esteban Fuentes Rojas

Gabriel Esteban Martinez Roldan

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE SISTEMAS Y TECNOLOGÍA DE FACATATIVÁ  
(GISTFA)**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería de Sistemas

Facatativá, Noviembre 2025

# **Dedicatoria**

Texto de la dedicatoria...

# **Agradecimientos**

Texto de los agradecimientos...

# Resumen

Texto del resumen en español (200 a 250 palabras, sin sangría).

**Palabras clave:** palabra1, palabra2, palabra3, palabra4, palabra5.

# **Abstract**

Texto del resumen en inglés (200 a 250 palabras, sin sangría).

**Keywords:** keyword1, keyword2, keyword3, keyword4, keyword5.

# Índice general

<b>Dedicatoria</b>	<b>II</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>III</b>
<b>Resumen</b>	<b>IV</b>
<b>Abstract</b>	<b>V</b>
<b>Lista de Tablas</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>XII</b>
<b>Lista de Anexos</b>	<b>XIII</b>
<b>Introducción</b>	<b>XIV</b>
<b>1 INFORME DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 Estado del Arte . . . . .	1
1.2 Línea de Investigación . . . . .	1
1.3 Planteamiento del Problema y Pregunta de Investigación . . . . .	1
1.4 Objetivo General y Objetivos Específicos . . . . .	3
1.4.1 Objetivo General . . . . .	3
1.4.2 Objetivos Específicos . . . . .	3
1.5 Alcance e Impacto del Proyecto . . . . .	3
1.6 Metodología . . . . .	4
1.6.1 Metodología de Investigación . . . . .	4
1.6.2 Metodología de Desarrollo . . . . .	5
1.7 Marcos de Referencia . . . . .	6
1.7.1 Marco Teórico . . . . .	6
1.7.2 Marco Legal . . . . .	6
<b>2 DOCUMENTACIÓN DEL SOFTWARE</b>	<b>7</b>
2.1 Plan de Proyecto . . . . .	7
2.2 Arquitectura del Software . . . . .	7
2.2.1 Desarrollo del Frontend . . . . .	7

2.2.2	Desarrollo del Backend . . . . .	7
2.2.3	Integración Frontend-Backend . . . . .	8
2.3	Determinación de Requerimientos . . . . .	8
2.4	Especificación del Diseño . . . . .	9
2.4.1	Modelo de Entidad-Relación (MER) . . . . .	9
2.4.2	Diagramas de Casos de Uso . . . . .	10
2.4.3	Diagramas de Secuencia . . . . .	15
2.4.4	Diagramas de Actividades . . . . .	42
2.4.5	Diagrama de Clases . . . . .	71
2.4.6	Diagrama de Despliegue . . . . .	71
2.5	Diseño de los Casos de Prueba . . . . .	71
2.6	Estimación de Recursos . . . . .	72
2.7	Resultados de la Implementación del Software . . . . .	72
2.8	Conclusiones y Recomendaciones del software . . . . .	72
<b>3</b>	<b>DOCUMENTACIÓN DEL HARDWARE</b>	<b>73</b>
3.1	Introducción . . . . .	73
3.2	Objetivos . . . . .	73
3.3	Descripción de Componentes . . . . .	74
3.3.1	Microcontrolador ESP32-S3-WROOM-1 N16R8 . . . . .	74
3.3.2	Cámara termográfica MLX90640 . . . . .	74
3.3.3	Sensor de luz BH1750 . . . . .	74
3.3.4	Sensor de humedad y temperatura DHT22 . . . . .	74
3.3.5	Cámara RGB OV2640 . . . . .	74
3.3.6	Regulador de voltaje LM2596 . . . . .	74
3.4	Metodología de Caracterización . . . . .	75
3.4.1	Evaluación y verificación de componentes . . . . .	75
3.4.2	Configuración e Integración del Firmware . . . . .	75
3.4.3	Validación y Análisis de Resultados . . . . .	76
3.5	Implementación del Sistema Integrado . . . . .	76
3.6	Resultados . . . . .	76
<b>4</b>	<b>ESTUDIO EXPERIMENTAL</b>	<b>77</b>
4.1	Introducción . . . . .	77
4.2	Objetivos . . . . .	77

4.3	Preparación del Hongo <i>Botrytis cinerea</i> . . . . .	77
4.4	Diseño Experimental . . . . .	78
4.5	Recolección y Análisis de Datos . . . . .	78
4.6	Resultados . . . . .	78
<b>5</b>	<b>INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA DETECCIÓN TEMPRANA</b>	<b>79</b>
5.1	Introducción . . . . .	79
5.2	Objetivos . . . . .	79
5.3	Preprocesamiento de Datos . . . . .	80
5.4	Modelos de Inteligencia Artificial Utilizados . . . . .	80
5.5	Evaluación de Modelos . . . . .	81
5.6	Resultados . . . . .	81
<b>6</b>	<b>RESULTADOS Y CONCLUSIONES FINALES</b>	<b>82</b>
6.1	Pregunta de investigación . . . . .	82
6.2	Discusión General . . . . .	82
6.3	Recomendaciones . . . . .	82
6.4	Conclusiones Finales . . . . .	83
<b>Bibliografía</b>		<b>84</b>
<b>Anexos</b>		<b>84</b>
A	Código Fuente del Módulo Principal . . . . .	84
B	Manual de Usuario por Roles . . . . .	84
C	Manual de Instalación . . . . .	84
D	Artículos de Resultados de Investigación . . . . .	84
E	Certificaciones de Ponencias y Controles de Seguimiento . . . . .	85

# **Índice de cuadros**

# Índice de figuras

1	Diagrama Entidad-Relación del Sistema. . . . .	9
2	Diagrama de Casos de Uso para la Gestión de Usuarios (RF1, RF2). . . . .	10
3	Diagrama de Casos de Uso para la Gestión de Cámaras (RF3). . . . .	11
4	Diagrama de Casos de Uso para la Gestión de Perfiles (RF4). . . . .	11
5	Diagrama de Casos de Uso para el Módulo de Mediciones (RF5). . . . .	12
6	Diagrama de Casos de Uso para la Gestión de Plantas (RF6). . . . .	12
7	Diagrama de Casos de Uso para la Generación de Reportes (RF7). . . . .	13
8	Diagrama de Casos de Uso para las Notificaciones (RF8). . . . .	13
9	Diagrama de Casos de Uso para el Módulo de Observaciones (RF9). . . . .	14
10	Diagrama de secuencia base: Envío de formulario. . . . .	15
11	Diagrama de Secuencia para el Registro (RF1.0). . . . .	16
12	Diagrama de Secuencia para Solicitar Código (RF1.1). . . . .	17
13	Diagrama de Secuencia para Iniciar Sesión (RF2.0). . . . .	18
14	Diagrama de Secuencia para Cerrar Sesión (RF2.1). . . . .	18
15	Diagrama de Secuencia para Recuperar Contraseña (RF2.2). . . . .	19
16	Diagrama de Secuencia para Crear Cámara (RF3.1). . . . .	20
17	Diagrama de Secuencia para Activar Cámara (RF3.1.1). . . . .	21
18	Diagrama de Secuencia para Activar Hardware (RF3.1.1). . . . .	22
19	Diagrama de Secuencia para Consultar Cámara (RF3.2). . . . .	23
20	Diagrama de Secuencia para Editar Cámara (RF3.3). . . . .	24
21	Diagrama de Secuencia para Eliminar Cámara (RF3.4). . . . .	25
22	Diagrama de Secuencia para Consultar Perfil (RF4.1). . . . .	26
23	Diagrama de Secuencia para Editar Perfil (RF4.2). . . . .	27
24	Diagrama de Secuencia para Eliminar Perfil (RF4.3). . . . .	28
25	Diagrama de Secuencia para Cambiar Contraseña (RF4.4). . . . .	29
26	Diagrama de Secuencia para Agregar Integrante de Cultivo (RF4.5). . . . .	30

27	Diagrama de Secuencia para Eliminar Integrante de Cultivo (RF4.6). . . . .	31
28	Diagrama de Secuencia para el Módulo de Mediciones (RF5.0). . . . .	32
29	Diagrama de Secuencia para Crear Planta (RF6.1). . . . .	32
30	Diagrama de Secuencia para Consultar Planta (RF6.2). . . . .	33
31	Diagrama de Secuencia para Editar Planta (RF6.3). . . . .	34
32	Diagrama de Secuencia para Eliminar Planta (RF6.4). . . . .	35
33	Diagrama de Secuencia para Generar Reporte (RF7.0). . . . .	36
34	Diagrama de Secuencia para Descargar Reporte (RF7.1). . . . .	36
35	Diagrama de Secuencia para Adjuntar Reporte (RF7.2). . . . .	37
36	Diagrama de Secuencia para Notificar Planta (RF8.1). . . . .	38
37	Diagrama de Secuencia para Notificar Seguridad (RF8.2). . . . .	39
38	Diagrama de Secuencia para Crear Observación (RF9.1). . . . .	40
39	Diagrama de Secuencia para Consultar Observación (RF9.1). . . . .	40
40	Diagrama de Actividad para el Registro (RF1.0). . . . .	42
41	Diagrama de Actividad para Solicitar Código (RF1.1). . . . .	43
42	Diagrama de Actividad para Iniciar Sesión (RF2.0). . . . .	44
43	Diagrama de Actividad para Cerrar Sesión (RF2.1). . . . .	45
44	Diagrama de Actividad para Recuperar Contraseña (RF2.2). . . . .	46
45	Diagrama de Actividad para Crear Cámara (RF3.1). . . . .	47
46	Diagrama de Actividad para Activar Cámara (RF3.1.1). . . . .	48
47	Diagrama de Actividad para Activar Hardware (RF3.1.1). . . . .	49
48	Diagrama de Actividad para Consultar Cámara (RF3.2). . . . .	50
49	Diagrama de Actividad para Editar Cámara (RF3.3). . . . .	51
50	Diagrama de Actividad para Eliminar Cámara (RF3.4). . . . .	52
51	Diagrama de Actividad para Consultar Perfil (RF4.1). . . . .	53
52	Diagrama de Actividad para Editar Perfil (RF4.2). . . . .	54
53	Diagrama de Actividad para Eliminar Perfil (RF4.3). . . . .	55
54	Diagrama de Actividad para Cambiar Contraseña (RF4.4). . . . .	56
55	Diagrama de Actividad para Agregar Integrante de Cultivo (RF4.5). . . . .	57
56	Diagrama de Actividad para Eliminar Integrante de Cultivo (RF4.6). . . . .	58
57	Diagrama de Actividad para el Módulo de Mediciones (RF5.0). . . . .	59
58	Diagrama de Actividad para Crear Planta (RF6.1). . . . .	60
59	Diagrama de Actividad para Consultar Planta (RF6.2). . . . .	61

60	Diagrama de Actividad para Editar Planta (RF6.3). . . . .	62
61	Diagrama de Actividad para Eliminar Planta (RF6.4). . . . .	63
62	Diagrama de Actividad para Generar Reporte (RF7.0). . . . .	64
63	Diagrama de Actividad para Descargar Reporte (RF7.1). . . . .	65
64	Diagrama de Actividad para Adjuntar Reporte (RF7.2). . . . .	66
65	Diagrama de Actividad para Notificar Planta (RF8.1). . . . .	67
66	Diagrama de Actividad para Notificar Seguridad (RF8.2). . . . .	68
67	Diagrama de Actividad para Crear Observación (RF9.1). . . . .	69
68	Diagrama de Actividad para Consultar Observación (RF9.2). . . . .	70
69	Diagrama de Despliegue del Sistema. . . . .	71

# **Lista de Anexos**

1. Anexo A: Título del Anexo A
2. Anexo B: Título del Anexo B

# **Introducción**

Texto de la introducción (2 a 4 páginas).

# **I. INFORME DE INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Estado del Arte**

Texto del estado del arte...

## **1.2. Línea de Investigación**

Texto de la línea de investigación...

## **1.3. Planteamiento del Problema y Pregunta de Investigación**

La producción de arándanos está en aumento debido a su alta demanda, siendo la variedad Biloxi la que más se cultiva en el altiplano cundiboyacense según datos de Quintana (2020). Sin embargo, la planta requiere condiciones específicas de temperatura para dar fruto. La falta de estas condiciones la hace susceptible a enfermedades, representando un desafío significativo para los productores. Sin un manejo oportuno, las enfermedades pueden causar la muerte de las plantas, afectando el cultivo y provocando pérdidas económicas. Esto subraya la importancia de una gestión adecuada, reflejada en las exportaciones de frutos del género Vaccinium en Colombia, que alcanzaron los 2,2 millones de dólares, según la Asociación Nacional de Comercio Exterior (ANALDEX, 2022).

Respecto a las enfermedades en plantas (fitopatologías), Quintana afirma que la *Botrytis Cinerea* es una de las más comunes en el arándano. La *Botryotinia Fuckeliana* (fase asexuada: *Botrytis Cinerea*), comúnmente conocida como *Botrytis* o moho gris, es una enfermedad fúngica que afecta una amplia variedad de plantas, incluyendo la planta de arándano Biloxi (Quintana, 2020). Esta enfermedad es particularmente destructiva en condiciones de alta humedad y temperaturas moderadas, promoviendo la formación de esporas. Los síntomas típicos de la *Botrytis* incluyen manchas marrones en hojas, flores y frutos, que eventualmente se cubren de un moho gris característico. En las hojas, causa lesiones de color café que comienzan generalmente por el centro de la lámina y se extienden hacia los bordes, produciendo una necrosis extensiva. En condiciones de alta humedad, sobre las lesiones de las hojas se desarrollan las estructuras reproductivas del patógeno (conidióforos y conidios), que dan un aspecto plomizo (grisáceo o plateado) en los tejidos (Morales, et al. 2017).

Una técnica no invasiva ampliamente utilizada en agricultura para monitorear la salud de las plantas es la termografía infrarroja (IRT), permitiendo además gestionar el riego, detectar enfermedades y estimar la producción (Dong et al., 2024; Aux et al., 2022). Esta herramienta es fundamental para avanzar hacia una agricultura más automatizada, precisa y sostenible, permitiendo supervisar el estrés térmico en cultivos y analizar el impacto de patógenos en la transpiración de las plantas. Aunque la investigación demuestra que la IRT está superando sus limitaciones y se está convirtiendo en un método robusto, confiable y económico para determinar el estado hídrico de las plantas y detectar el estrés (Pineda et al., 2020), su alto costo actual restringe su uso principalmente a grupos de investigación y empresas especializadas (García Tejero et al., 2015).

Teniendo en cuenta las afectaciones de la *Botrytis* a los cultivos de arándano, es crucial explorar métodos no invasivos como la termografía. Si la termografía permite hacer una detección temprana de esta enfermedad se podría mejorar la gestión de la salud del cultivo y reducir las pérdidas. Lo cual plantea la pregunta, ¿Cómo desarrollar un sistema para aproximar la detección temprana de

Botrytis Cinerea en plantas de arándanos Biloxi mediante hardware de bajo costo?

## **1.4. Objetivo General y Objetivos Específicos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Desarrollar un sistema de detección aproximada de Botrytis Cinerea en plantas de arándano Biloxi utilizando termografía infrarroja (IRT) mediante hardware de bajo costo.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

1. Identificar y documentar los requisitos funcionales y no funcionales del sistema.
2. Modelar la arquitectura del sistema mediante la creación de diagramas UML.
3. Integrar el hardware del módulo termográfico para la recolección de datos.
4. Desarrollar el software que recolecte los datos del módulo termográfico para su posterior procesamiento.
5. Analizar los datos obtenidos en plantas infectadas por Botrytis Cinerea y plantas saludables para determinar la precisión del sistema desarrollado.

## **1.5. Alcance e Impacto del Proyecto**

El presente proyecto busca ser un apoyo a la producción de arándanos a través de la implementación de tecnologías de precisión, como la termografía, para monitorear y gestionar la salud de los cultivos. Esto podría permitir a los agricultores minimizar las perdidas en los cultivos y poder

“satisfacer los desafíos de seguridad alimentaria local, regional y global del siglo XXI” (Vargas Q. & Best S., 2021).

La agricultura tecnificada y precisa es más sostenible porque permite utilizar recursos de manera óptima, como la utilización de fitosanitarios solo donde sea necesario. Según Manuel Pérez-Ruiz, director del máster en Agricultura Digital e Innovación Agroalimentaria de la Universidad de Sevilla, esta forma de agricultura también ayuda a que los agricultores sean más competitivos y no abandonen su territorio (Communications, 2024). Este proyecto está alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente con el ODS 9, que busca promover la inversión en infraestructura y la innovación para impulsar el crecimiento económico y el desarrollo sostenible. También contribuye a reducir la huella ecológica mediante la gestión eficiente de los recursos naturales compartidos y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles, lo que se relaciona con el ODS 12.

La implementación de este proyecto puede tener un impacto significativo en la seguridad alimentaria y la economía local. Al reducir las pérdidas económicas en la producción de cultivos y al promover la eficiencia energética, podemos crear cadenas de producción y suministro más eficientes. Además, el acceso a tecnologías de precisión puede ayudar a reducir la brecha digital entre países desarrollados y en desarrollo, lo que se relaciona con el ODS 9.

## **1.6. Metodología**

### **1.6.1. Metodología de Investigación**

Para llevar a cabo esta investigación se utilizará la metodología de investigación mixta, la cual combina la perspectiva cuantitativa y cualitativa, lo que permite dar profundidad al análisis y comprender mejor los procesos. Esto implica recopilar, analizar e interpretar datos tanto cualitativos

como cuantitativos para obtener una visión más completa de la problemática a estudiar. Esta metodología busca compensar las limitaciones de cada enfoque al mismo tiempo que fortalece la validez de la interpretación de los resultados (Hamui-Sutton, 2013).

La metodología mixta en este proyecto se empleará con el fin de combinar la recopilación y análisis de datos cuantitativos, como las lecturas de temperatura obtenidas a través del módulo de cámara térmica, con la exploración cualitativa de los resultados, como la descripción de las características en las plantas de arándano biloxi. Además de los datos termográficos, también se tomarán en cuenta otras variables importantes para el crecimiento de la planta y el hongo, buscando así tener una visión más completa de los factores que influyen en su desarrollo. Esto permitirá obtener una vista más amplia de la problemática a estudiar, comprendiendo así la relación entre las lecturas termográficas y la presencia de *Botrytis Cinerea*, además de aquellos factores que puedan influir en la precisión del sistema.

### **1.6.2. Metodología de Desarrollo**

Para el desarrollo del sistema, se adoptarán elementos del marco de trabajo ágil Scrum, un enfoque de desarrollo iterativo y colaborativo diseñado para fomentar la adaptabilidad y la entrega continua de valor. Este método, reconocido por su flexibilidad y eficiencia, se basa en ciclos cortos de trabajo llamados Sprints, que permiten planificar, ejecutar y revisar tareas de manera organizada y dinámica (SCRUMstudy™, 2022).

Durante el proyecto, se trabajará en Sprints semanales, en los cuales se evaluarán los avances del Product Backlog previamente definido. Esta estructura facilita la retroalimentación constante, priorización de tareas y ajustes según las necesidades del proyecto, asegurando un desarrollo estructurado y orientado a cumplir los objetivos establecidos. La implementación de Scrum permitirá un desarrollo funcional que cumpla con las expectativas de precisión y eficacia requeridas.

## **1.7. Marcos de Referencia**

### **1.7.1. Marco Teórico**

Texto del marco teórico...

### **1.7.2. Marco Legal**

Texto del marco legal...

## **II. DOCUMENTACIÓN DEL SOFTWARE**

### **2.1. Plan de Proyecto**

Texto del plan de proyecto...

### **2.2. Arquitectura del Software**

Describe la estructura global del sistema, mostrando cómo se organizan e interconectan los componentes del frontend y backend.

#### **2.2.1. Desarrollo del Frontend**

Documenta la implementación de la interfaz de usuario, detallando las tecnologías utilizadas y el diseño de la experiencia de usuario.

#### **2.2.2. Desarrollo del Backend**

Explica la lógica del servidor, la estructura de las APIs, la gestión de bases de datos y la implementación de la lógica de negocio que sustenta la aplicación.

### **2.2.3. Integración Frontend-Backend**

Detalla los mecanismos y protocolos (por ejemplo, REST o WebSockets) que permiten la comunicación y sincronización de datos entre la interfaz y el servidor.

## **2.3. Determinación de Requerimientos**

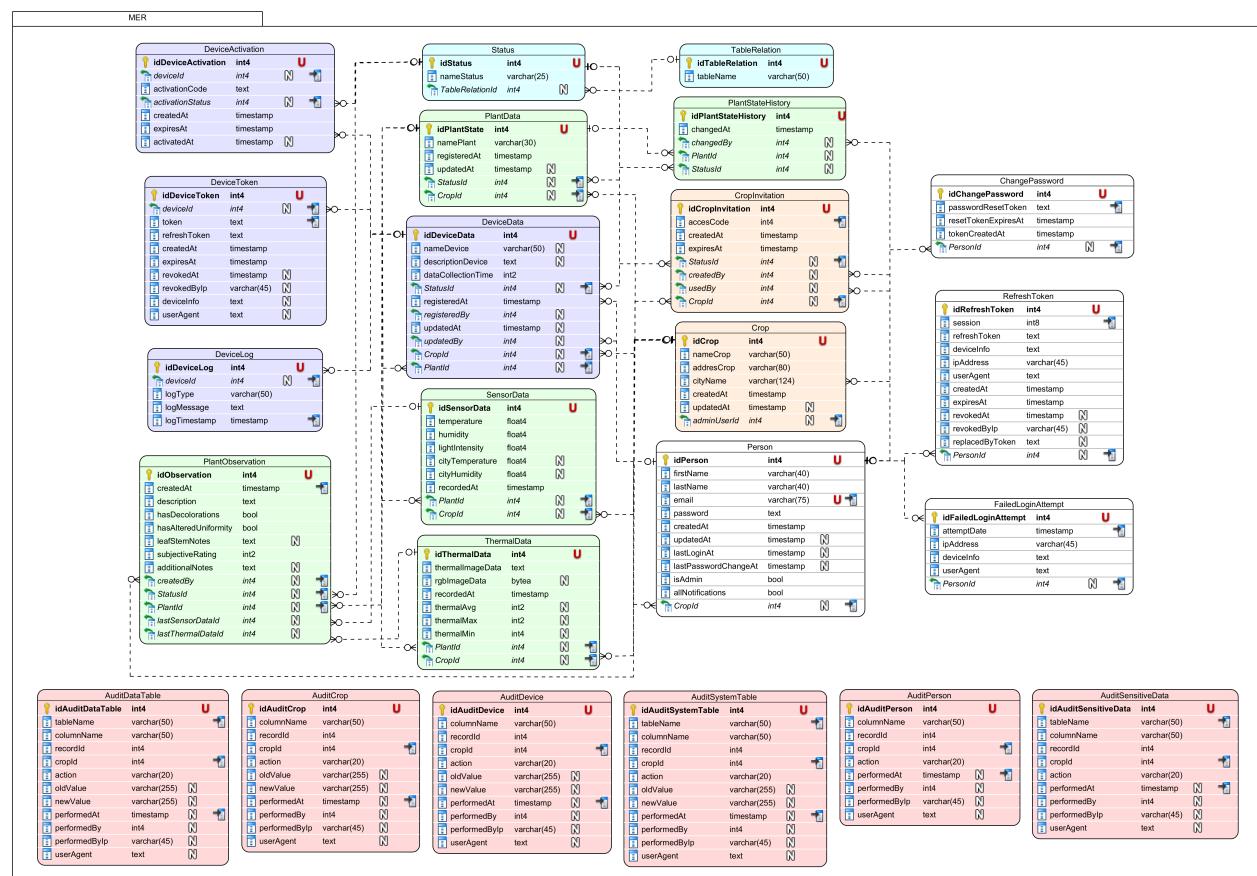
Texto sobre la determinación de requerimientos según formato IEEE...

## 2.4. Especificación del Diseño

#### **2.4.1. Modelo de Entidad-Relación (MER)**

**Figura 1**

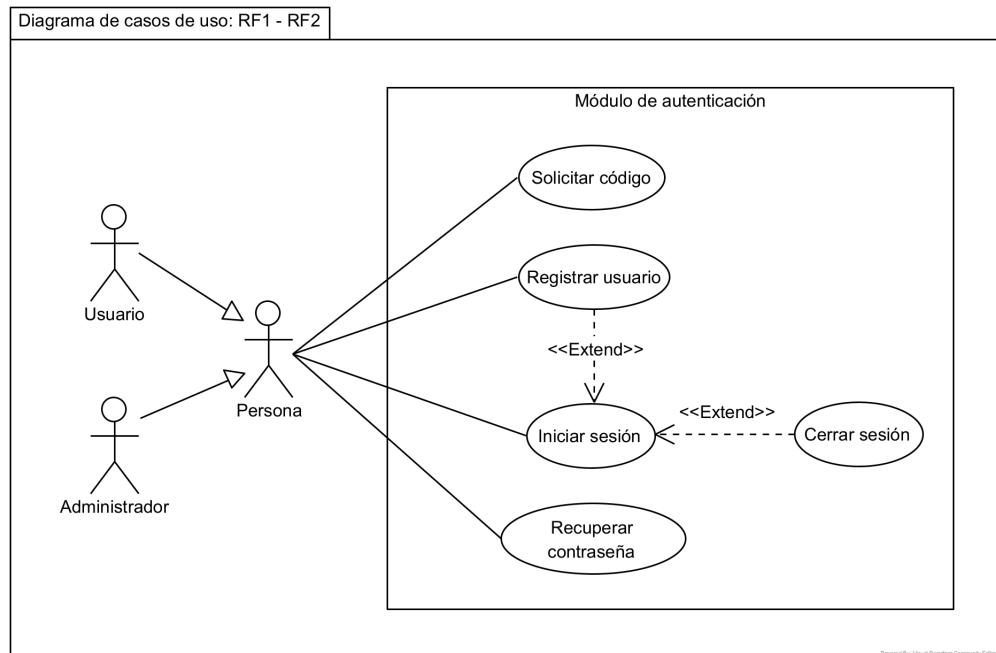
## *Diagrama Entidad-Relación del Sistema.*



## 2.4.2. Diagramas de Casos de Uso

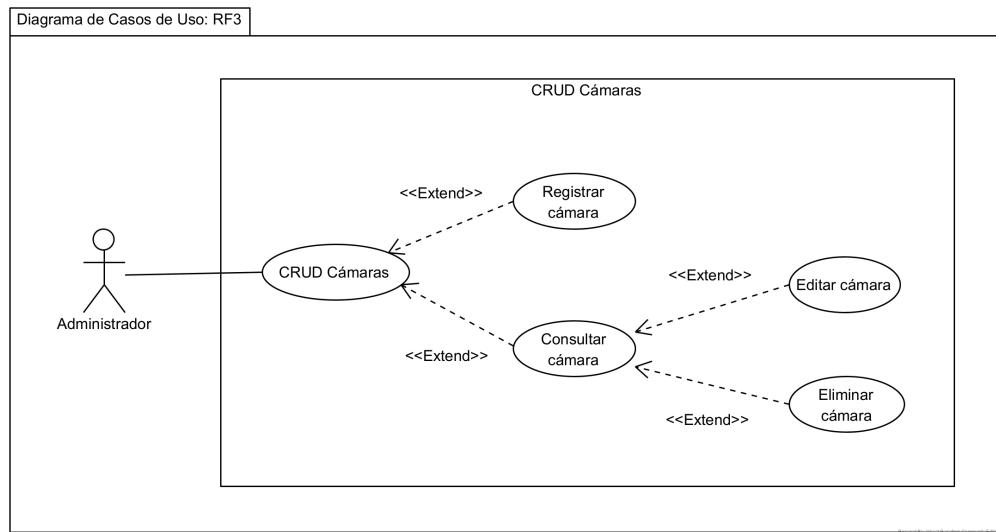
**Figura 2**

*Diagrama de Casos de Uso para la Gestión de Usuarios (RF1, RF2).*



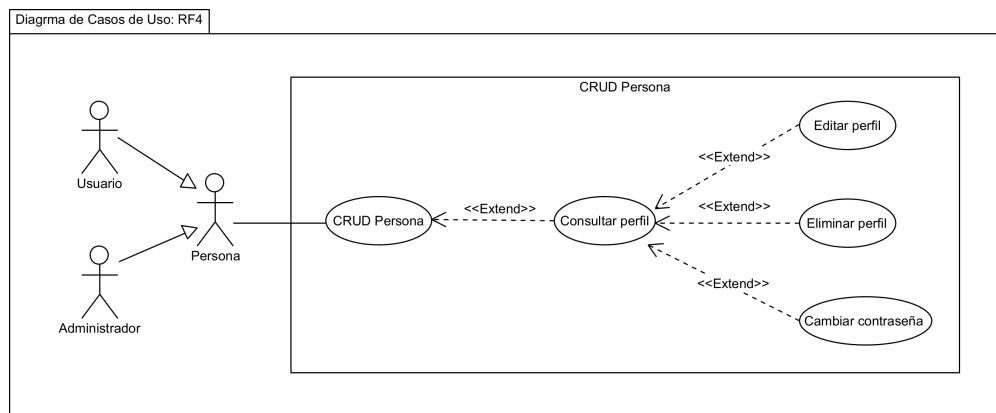
**Figura 3**

Diagrama de Casos de Uso para la Gestión de Cámaras (RF3).



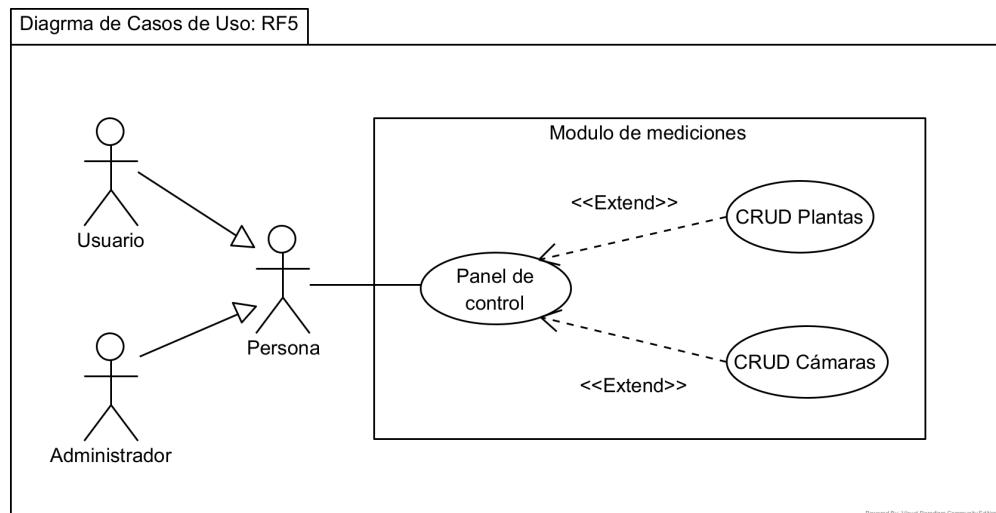
**Figura 4**

Diagrama de Casos de Uso para la Gestión de Perfiles (RF4).



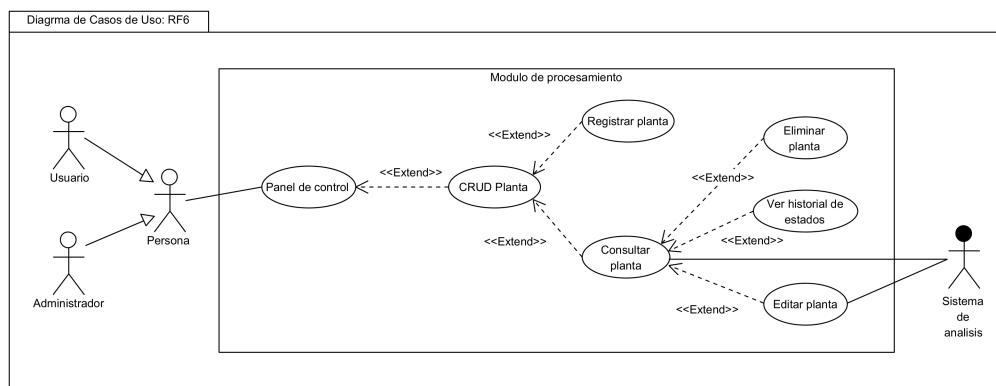
**Figura 5**

Diagrama de Casos de Uso para el Módulo de Mediciones (RF5).



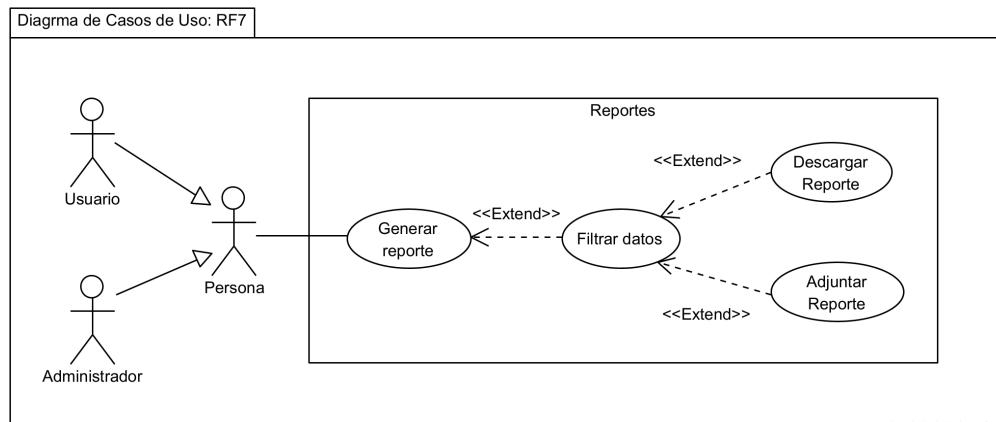
**Figura 6**

Diagrama de Casos de Uso para la Gestión de Plantas (RF6).



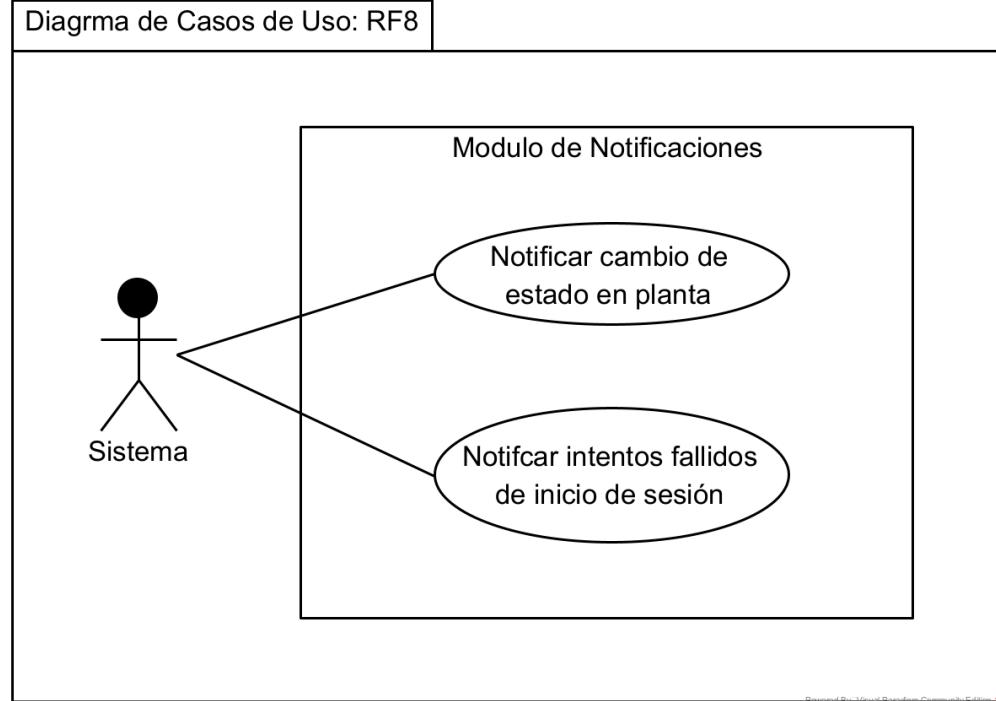
**Figura 7**

Diagrama de Casos de Uso para la Generación de Reportes (RF7).



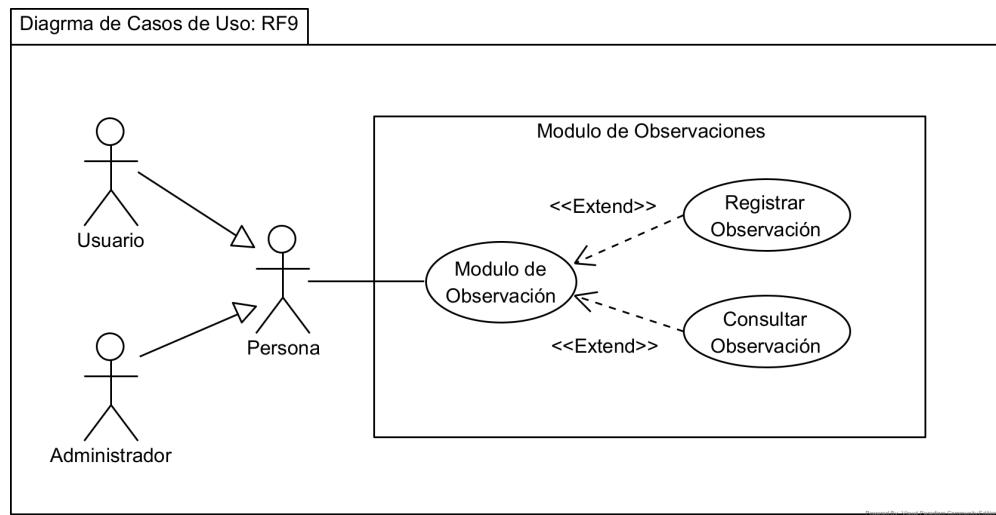
**Figura 8**

Diagrama de Casos de Uso para las Notificaciones (RF8).



**Figura 9**

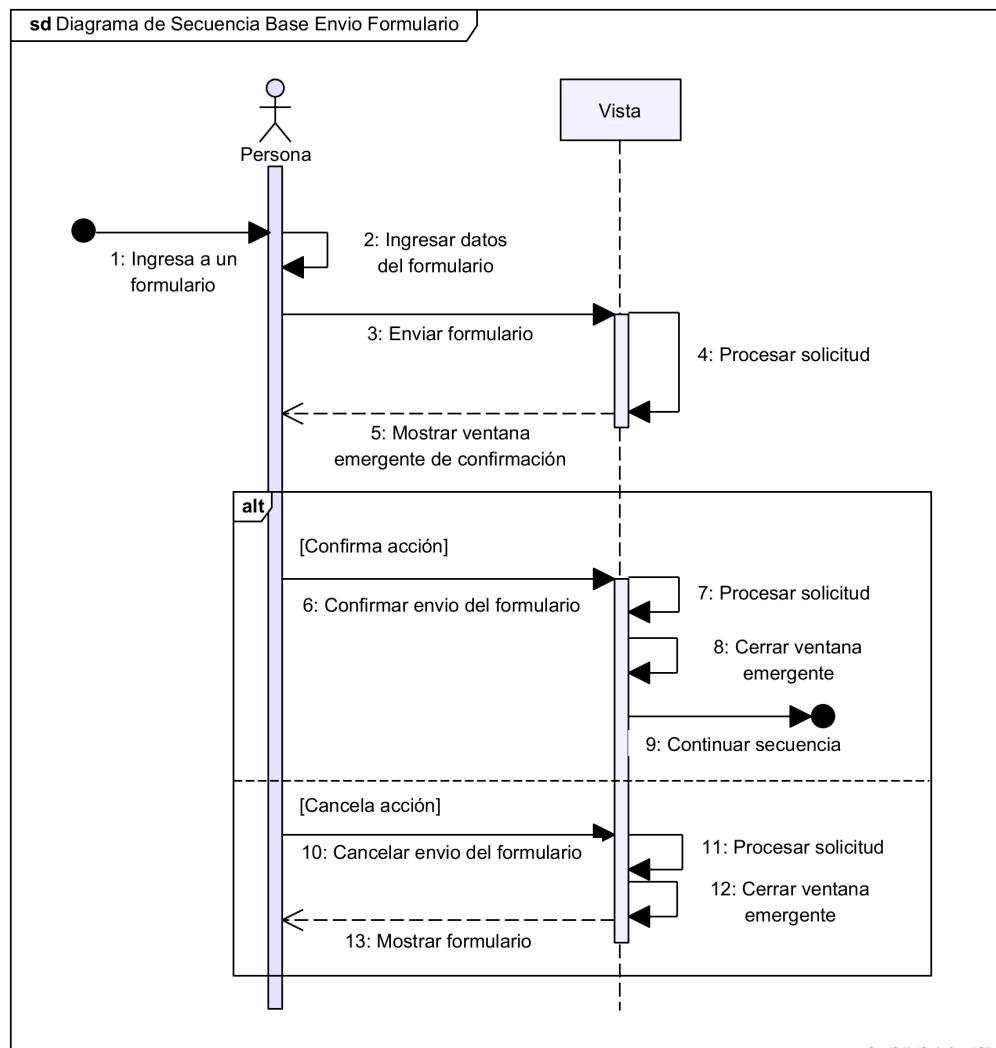
*Diagrama de Casos de Uso para el Módulo de Observaciones (RF9).*



### 2.4.3. Diagramas de Secuencia

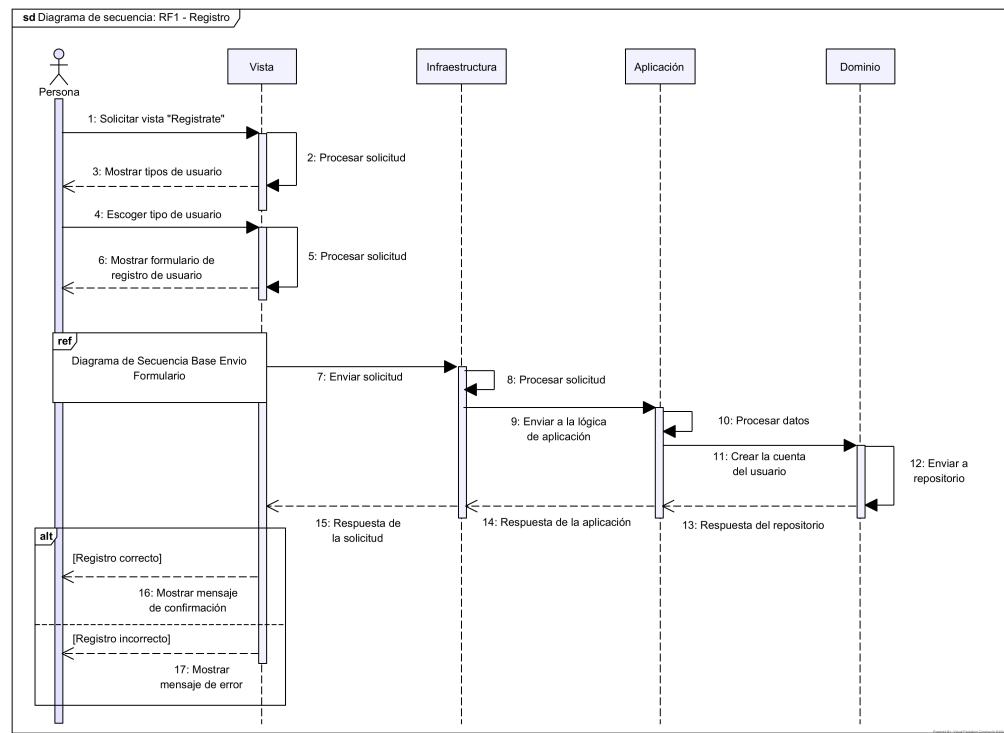
Figura 10

Diagrama de secuencia base: Envío de formulario.



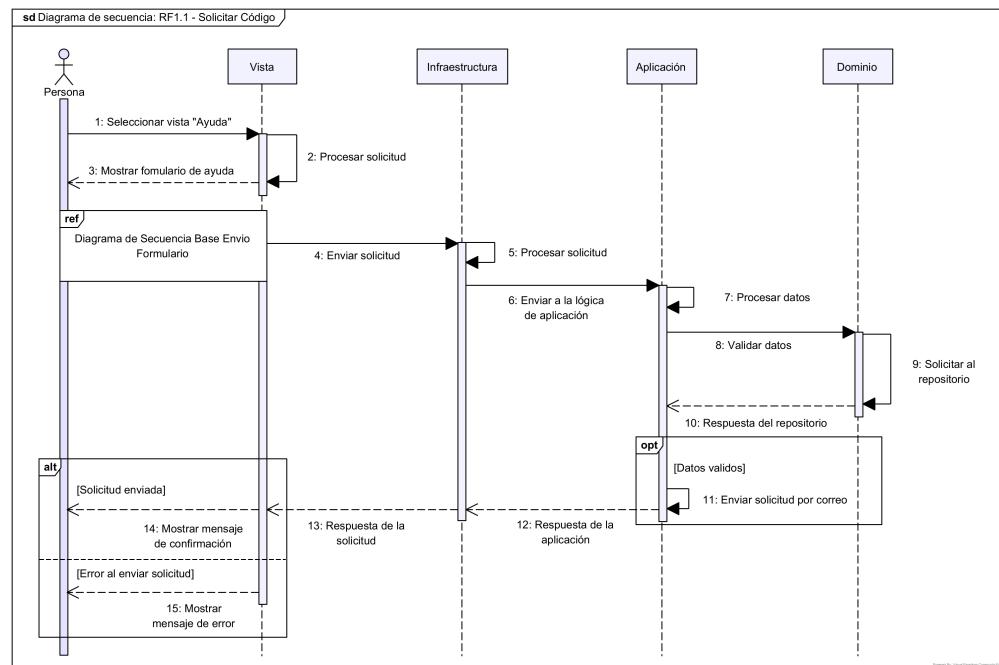
**Figura 11**

*Diagrama de Secuencia para el Registro (RF1.0).*



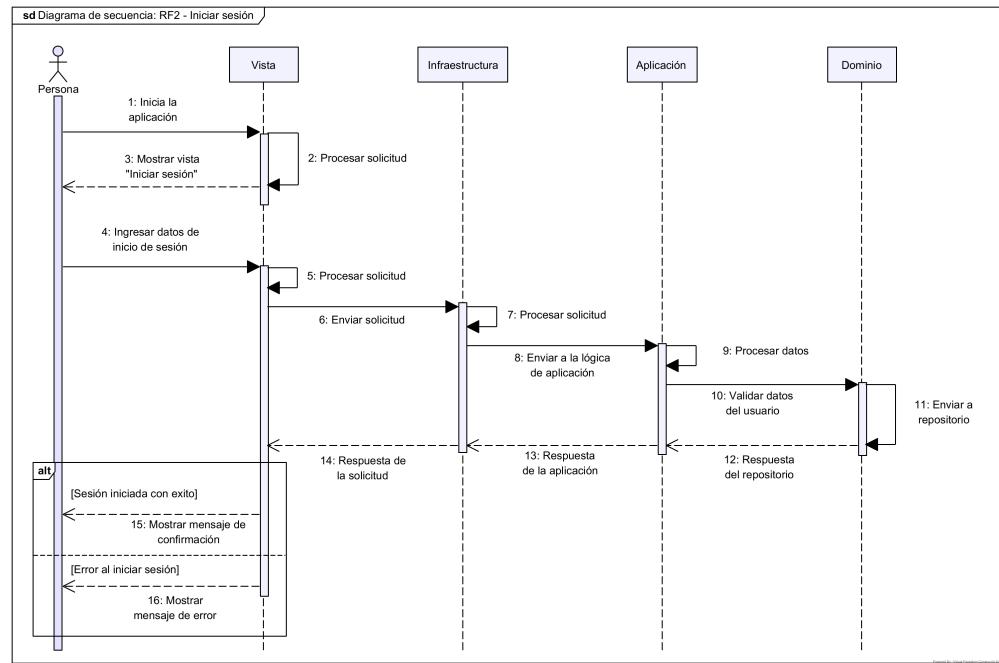
**Figura 12**

*Diagrama de Secuencia para Solicitar Código (RF1.1).*



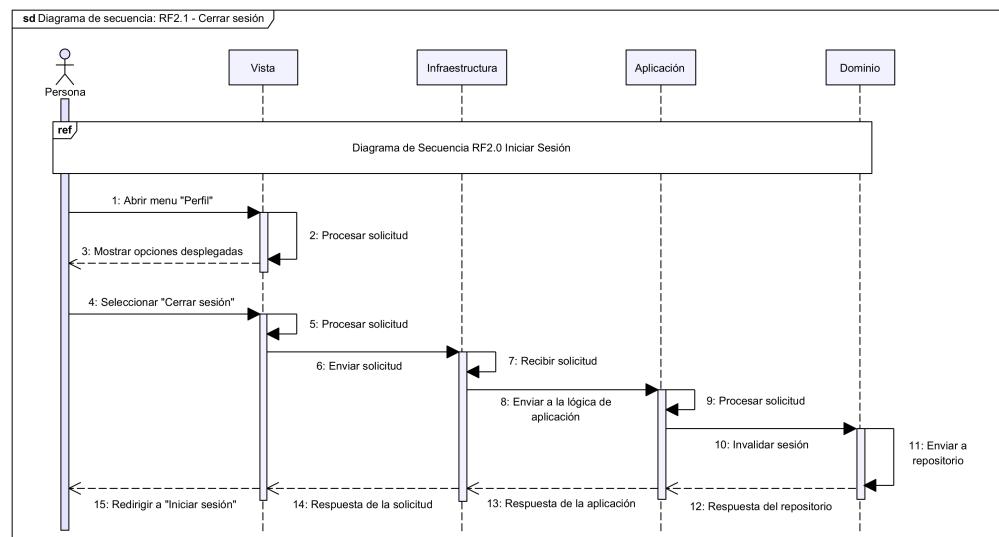
**Figura 13**

Diagrama de Secuencia para Iniciar Sesión (RF2.0).



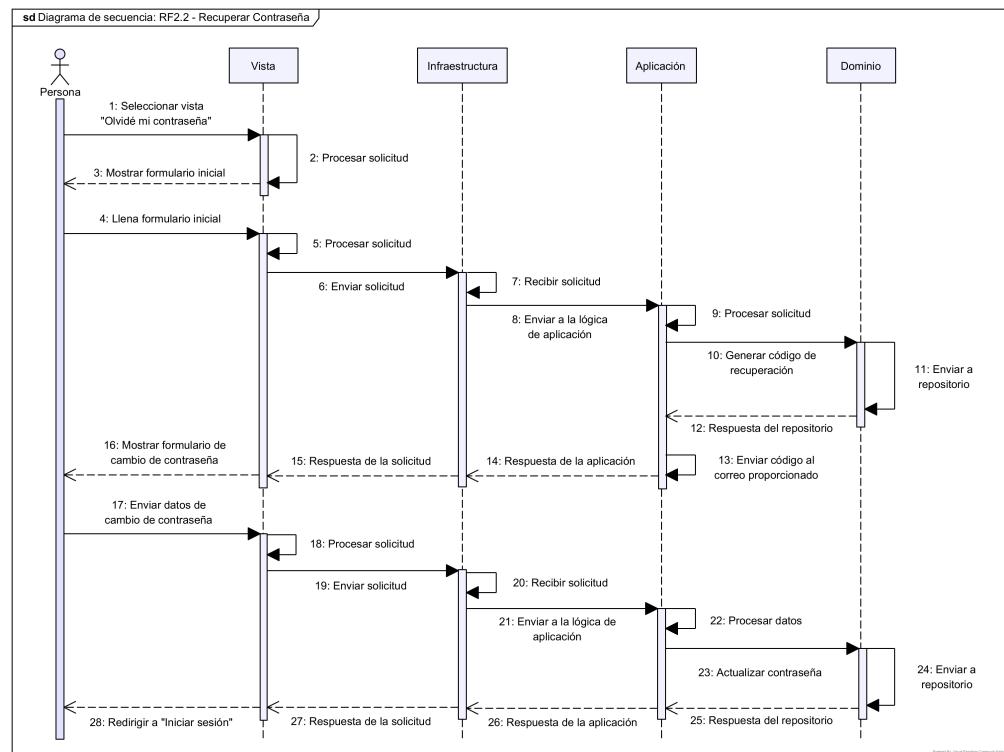
**Figura 14**

Diagrama de Secuencia para Cerrar Sesión (RF2.1).



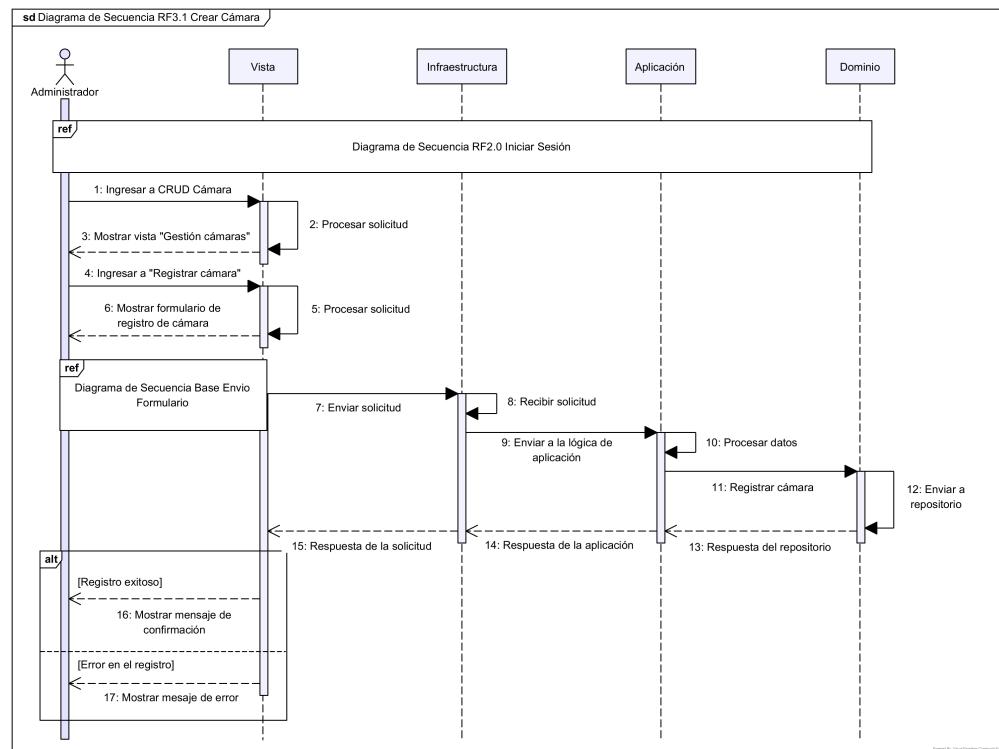
**Figura 15**

*Diagrama de Secuencia para Recuperar Contraseña (RF2.2).*



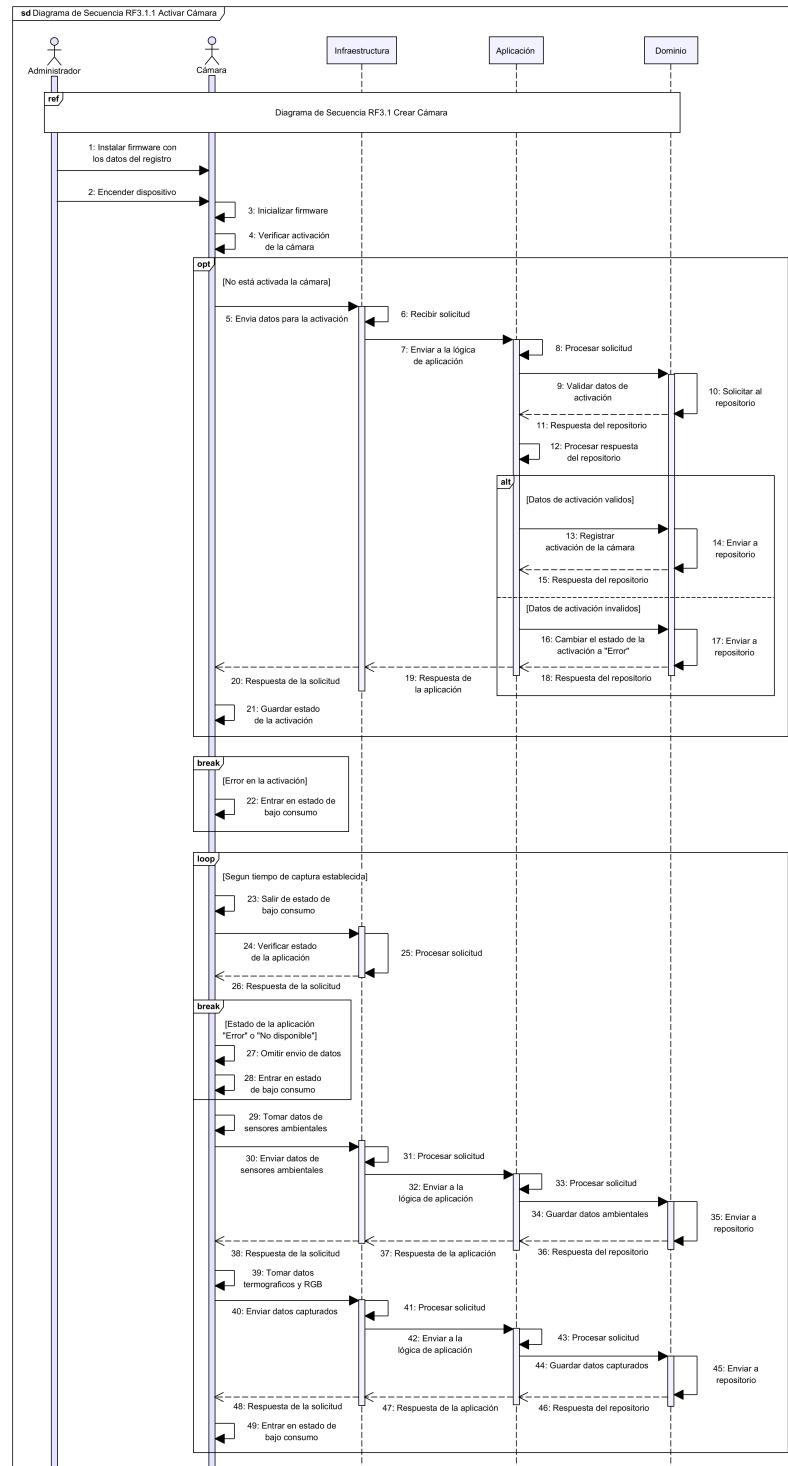
**Figura 16**

*Diagrama de Secuencia para Crear Cámara (RF3.1).*



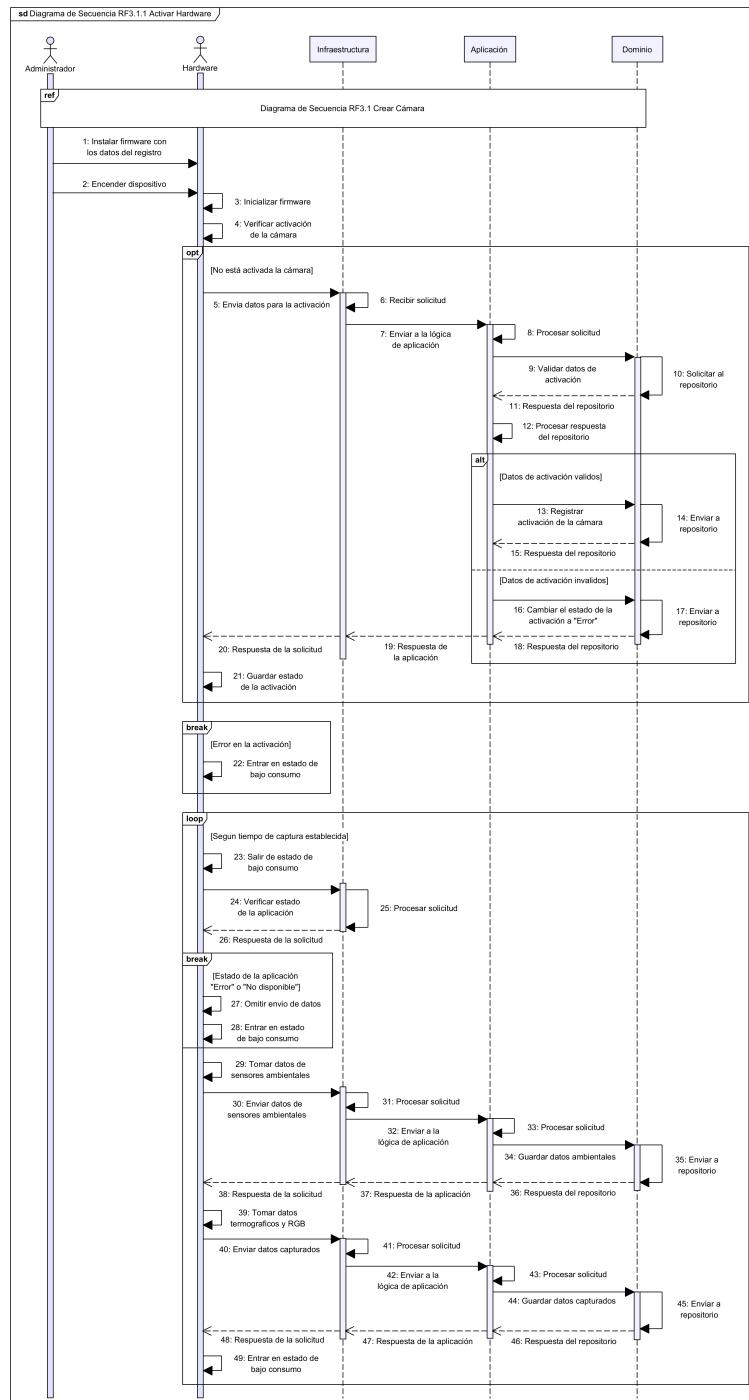
**Figura 17**

Diagrama de Secuencia para Activar Cámara (RF3.1.1).



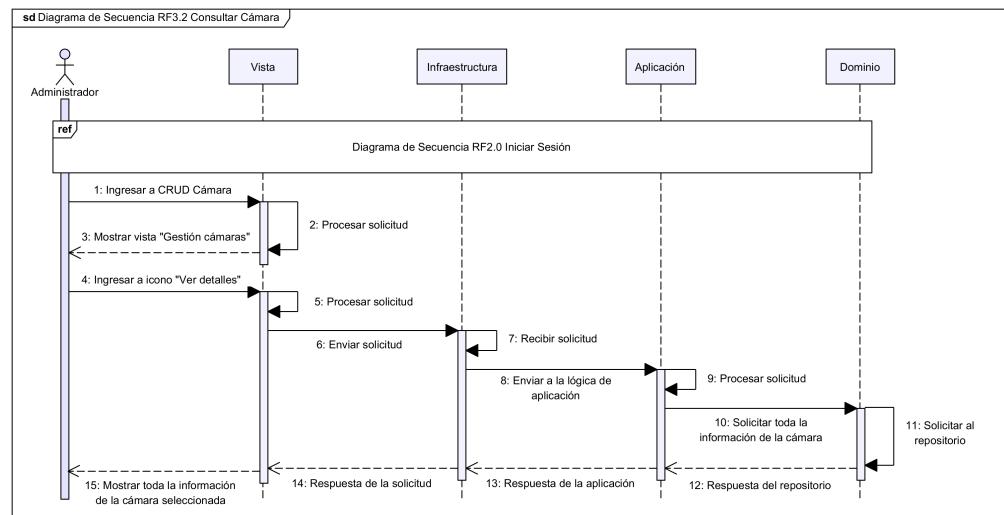
**Figura 18**

Diagrama de Secuencia para Activar Hardware (RF3.1.1).



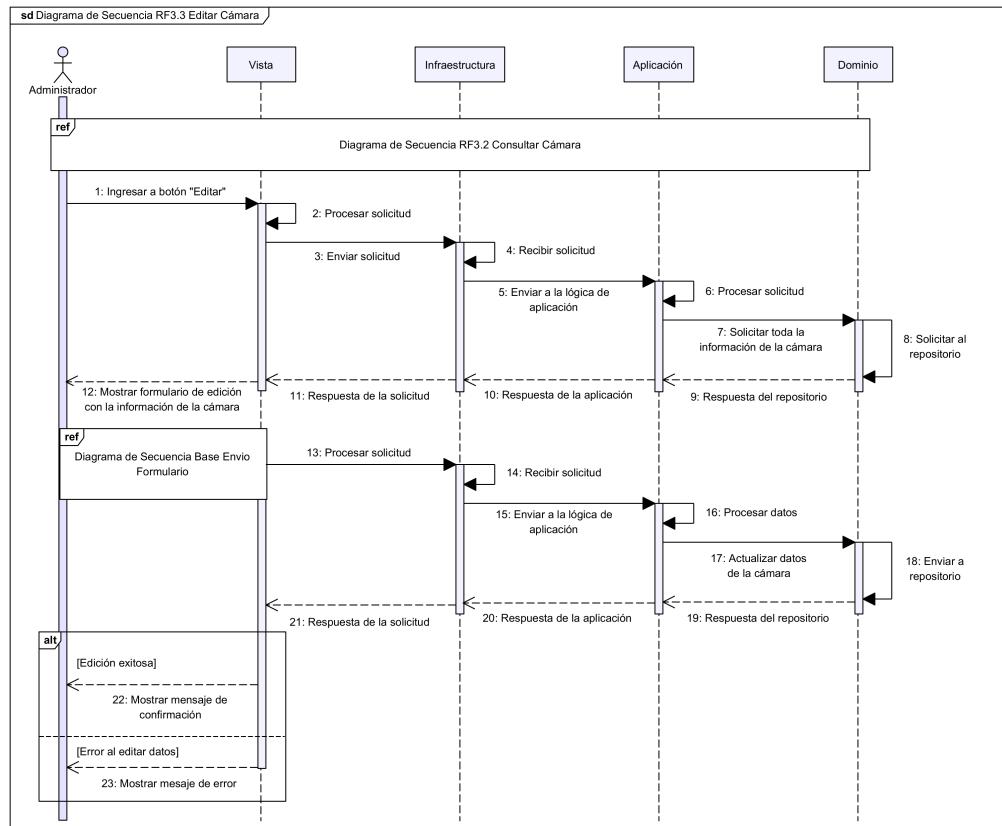
**Figura 19**

*Diagrama de Secuencia para Consultar Cámara (RF3.2).*



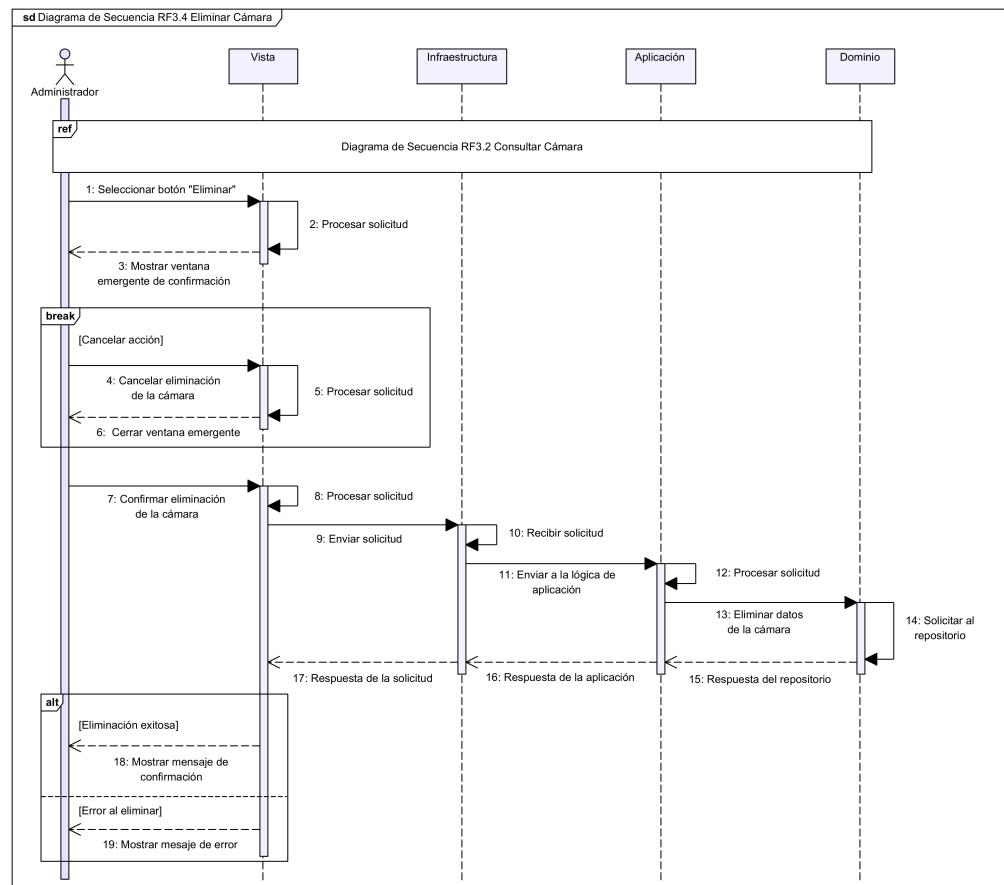
**Figura 20**

*Diagrama de Secuencia para Editar Cámara (RF3.3).*



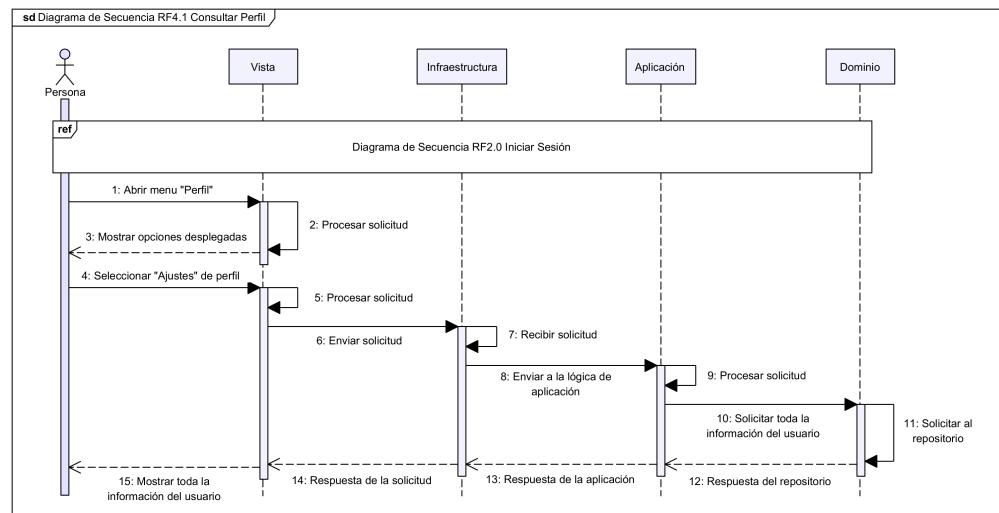
**Figura 21**

Diagrama de Secuencia para Eliminar Cámara (RF3.4).



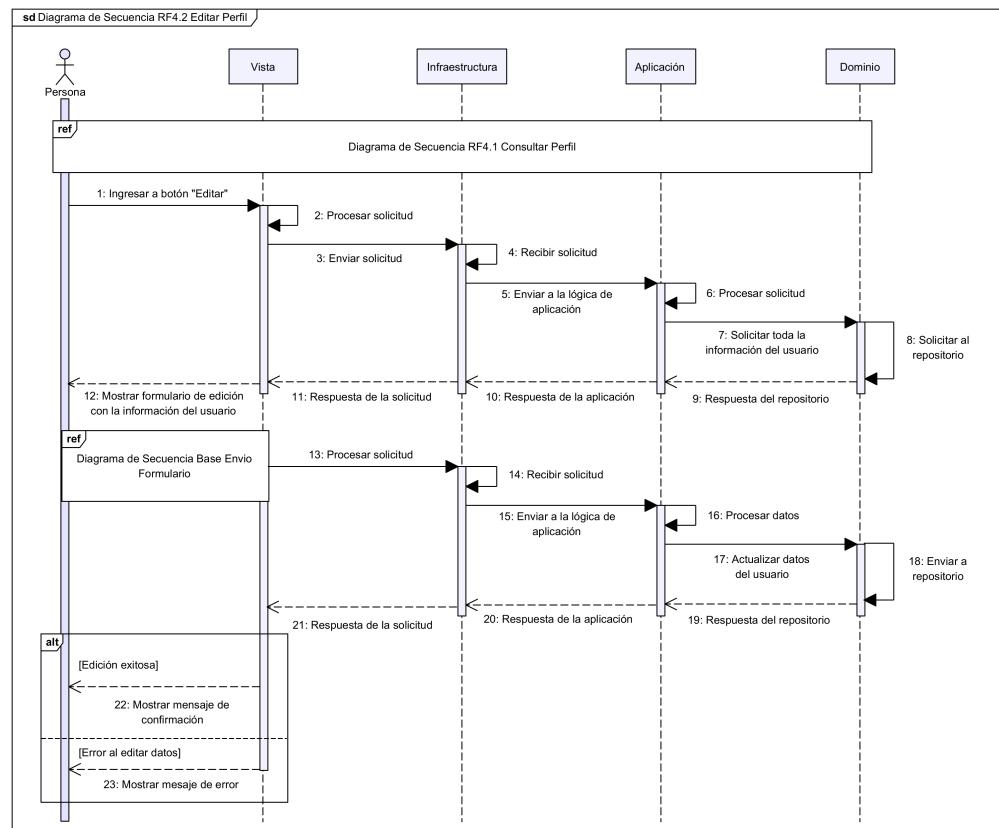
**Figura 22**

*Diagrama de Secuencia para Consultar Perfil (RF4.1).*



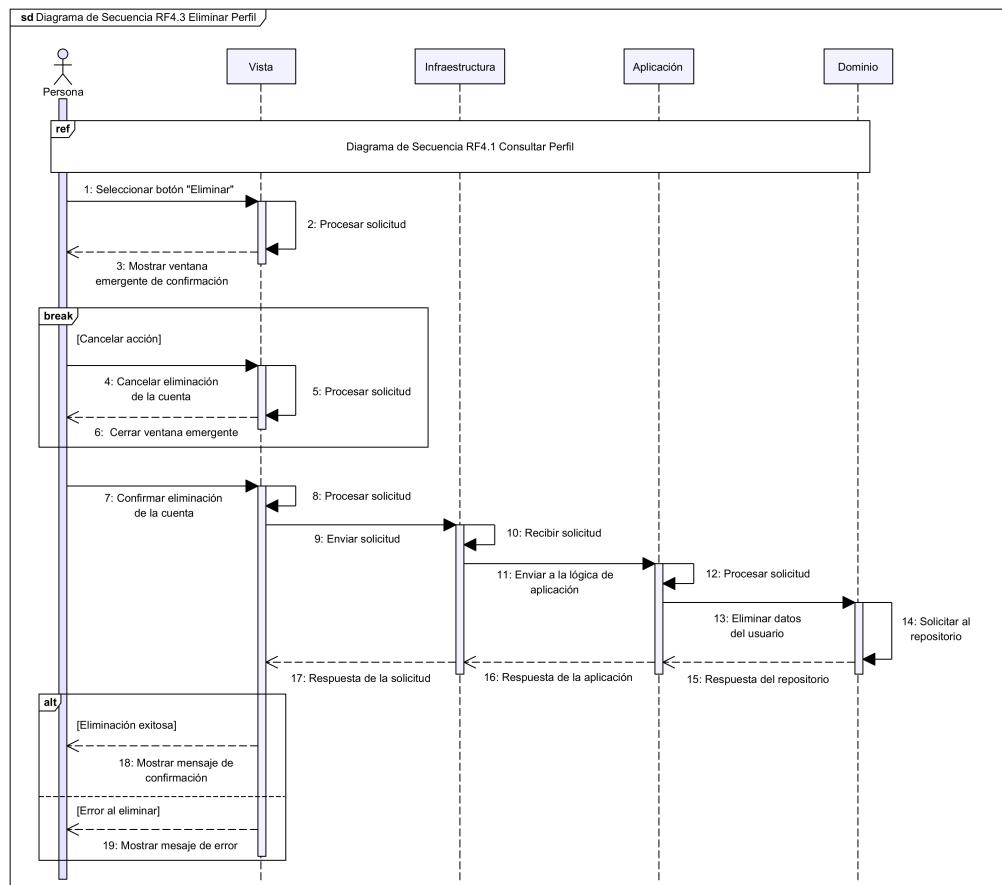
**Figura 23**

Diagrama de Secuencia para Editar Perfil (RF4.2).



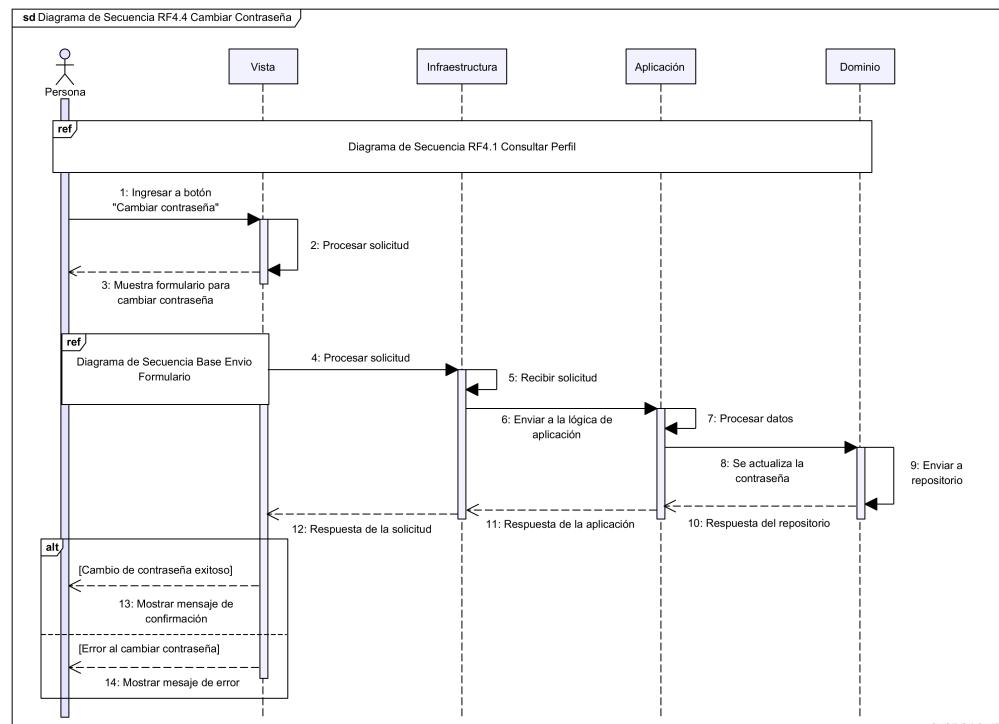
**Figura 24**

*Diagrama de Secuencia para Eliminar Perfil (RF4.3).*



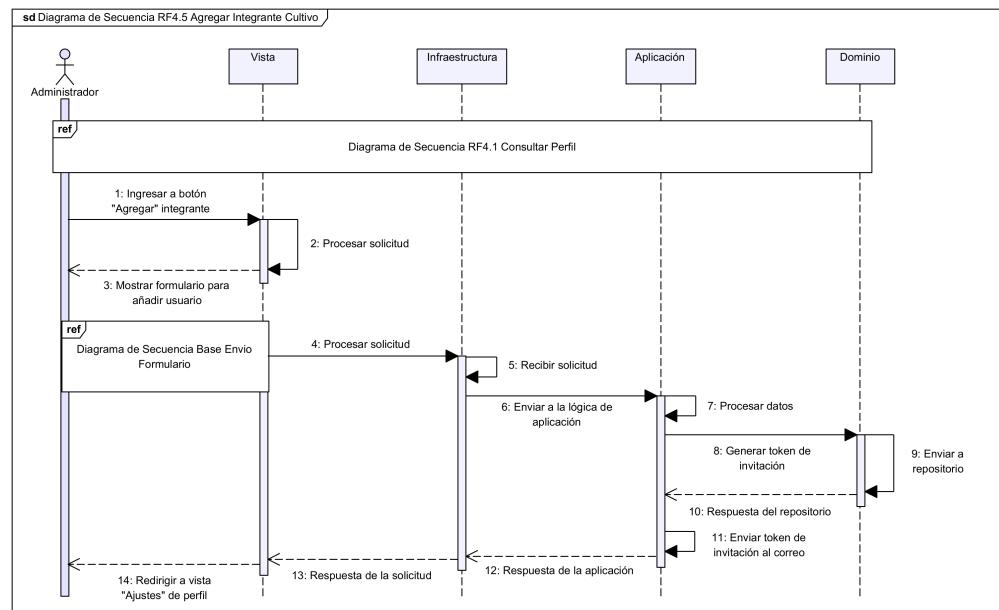
**Figura 25**

*Diagrama de Secuencia para Cambiar Contraseña (RF4.4).*



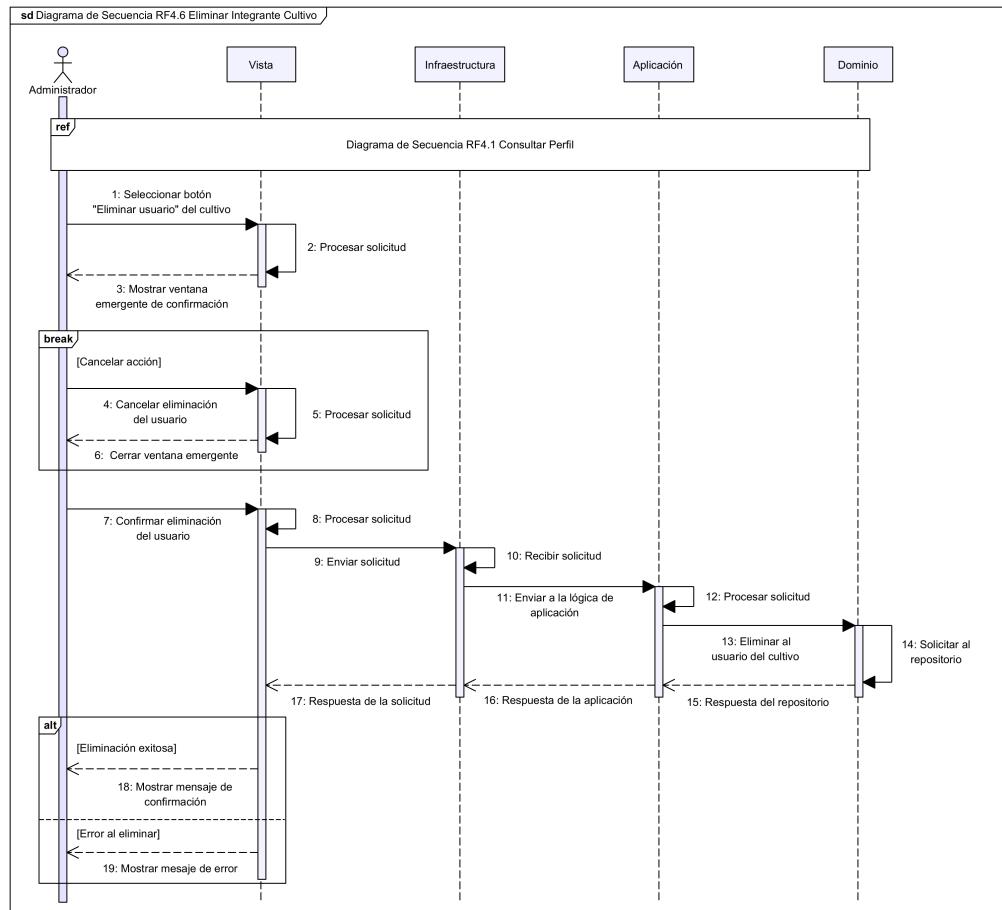
**Figura 26**

*Diagrama de Secuencia para Agregar Integrante de Cultivo (RF4.5).*



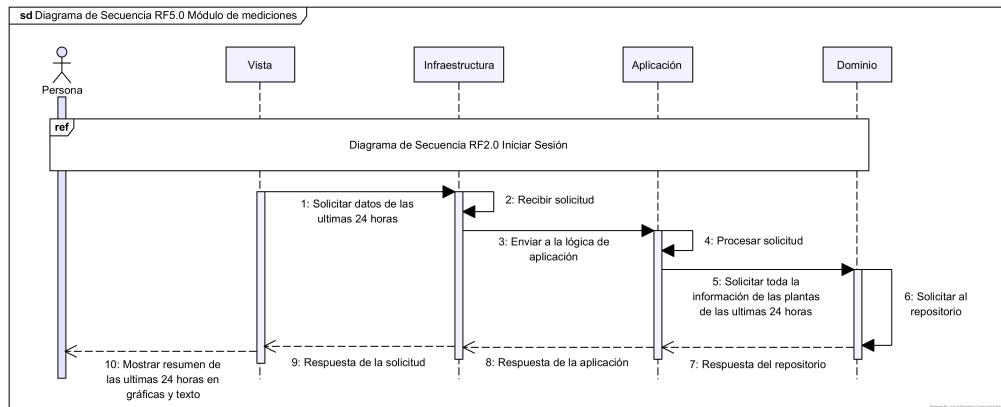
**Figura 27**

Diagrama de Secuencia para Eliminar Integrante de Cultivo (RF4.6).



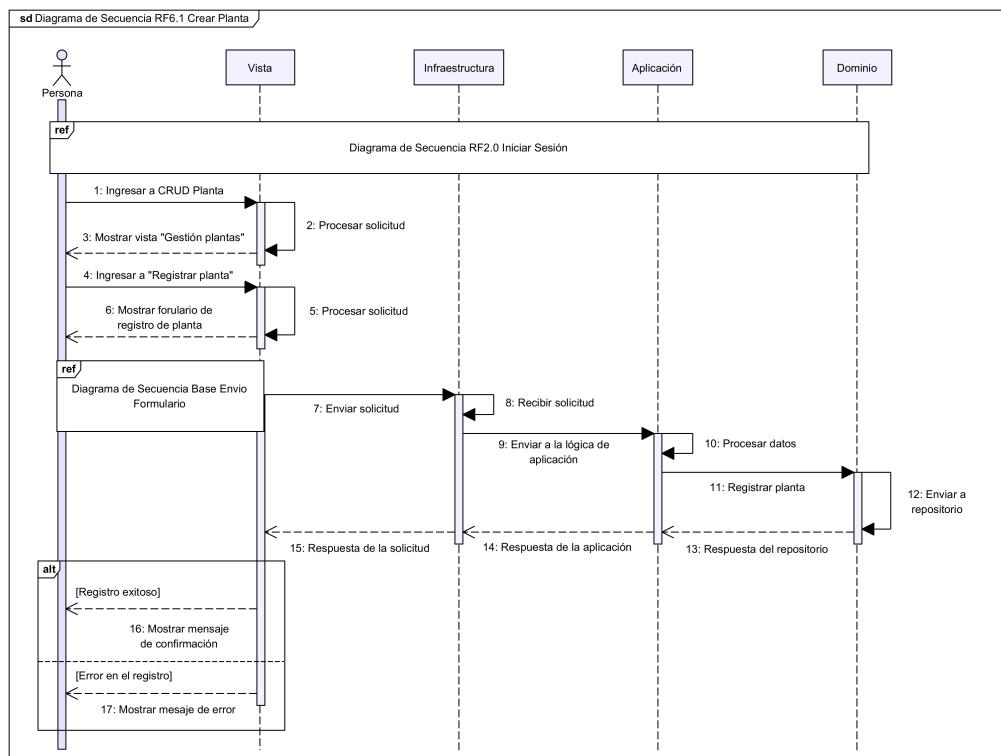
**Figura 28**

Diagrama de Secuencia para el Módulo de Mediciones (RF5.0).



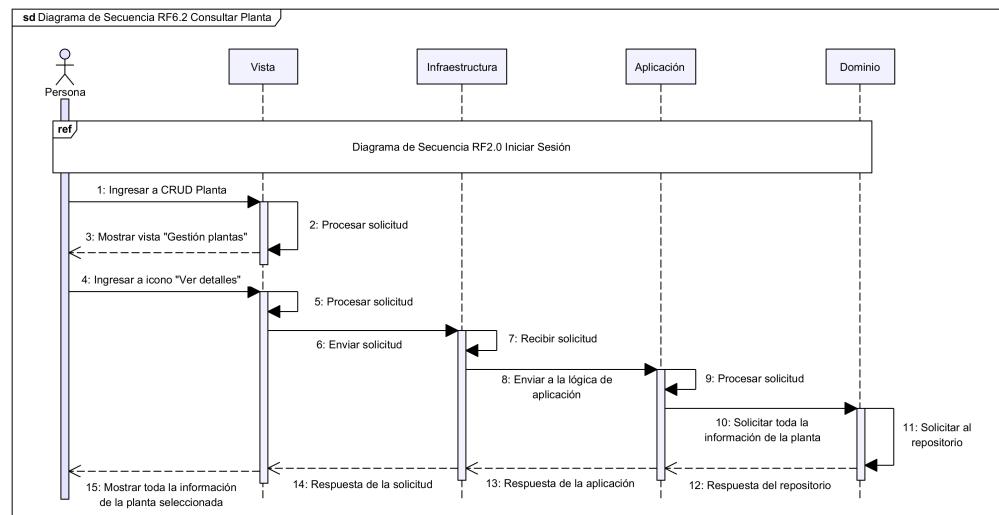
**Figura 29**

Diagrama de Secuencia para Crear Planta (RF6.1).



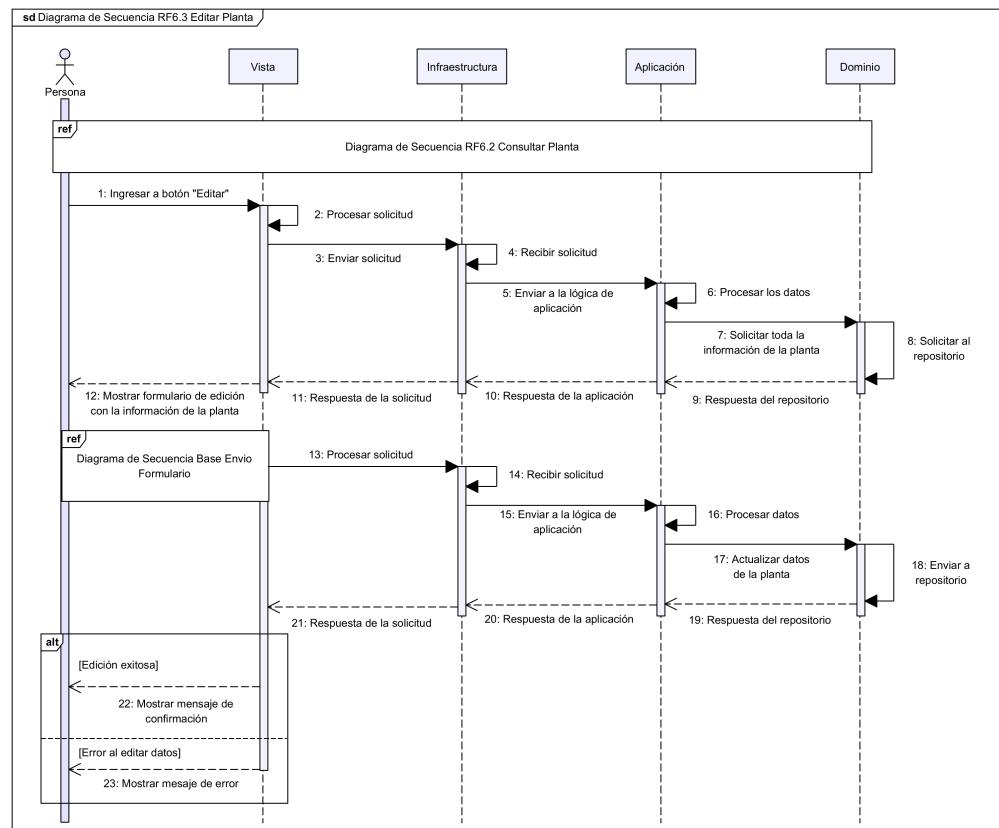
**Figura 30**

*Diagrama de Secuencia para Consultar Planta (RF6.2).*



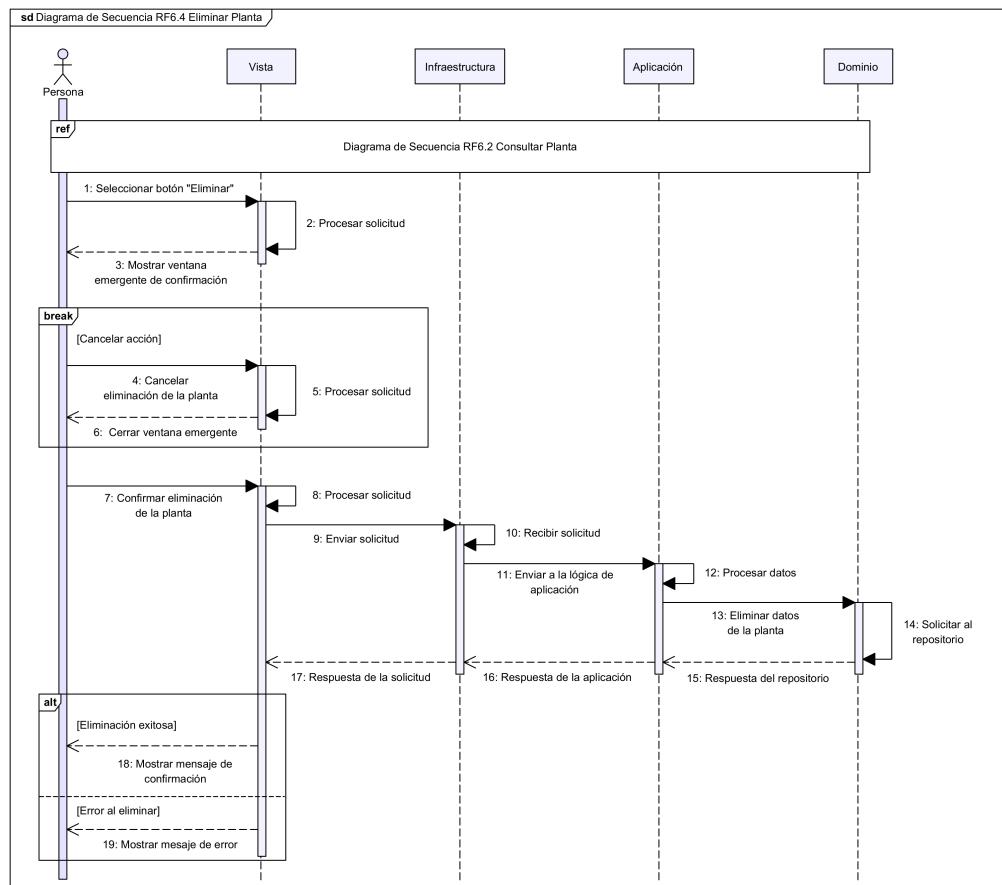
**Figura 31**

*Diagrama de Secuencia para Editar Planta (RF6.3).*



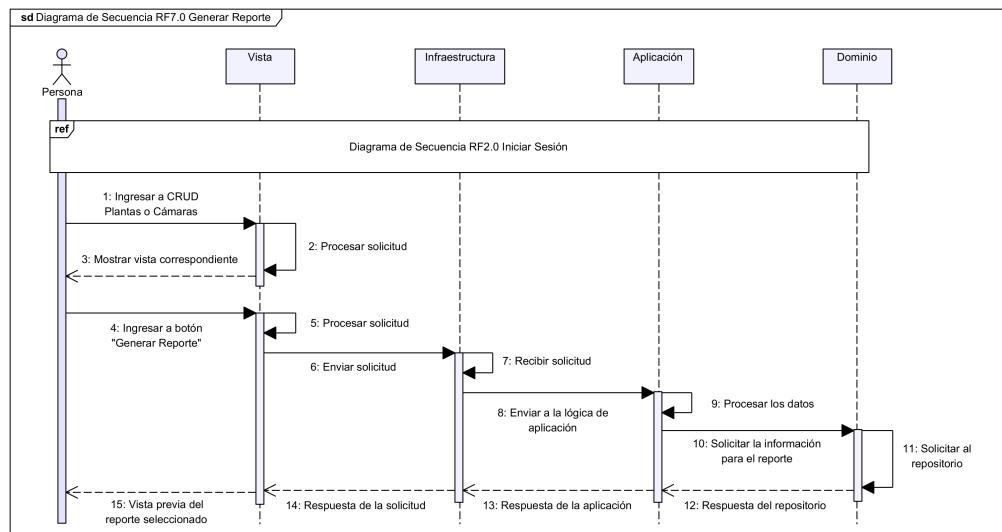
**Figura 32**

Diagrama de Secuencia para Eliminar Planta (RF6.4).



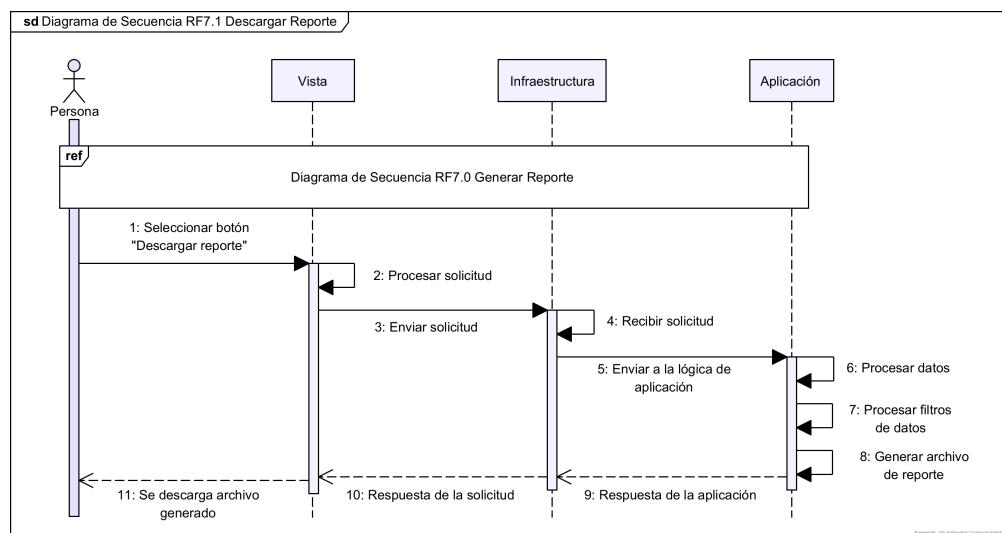
**Figura 33**

Diagrama de Secuencia para Generar Reporte (RF7.0).



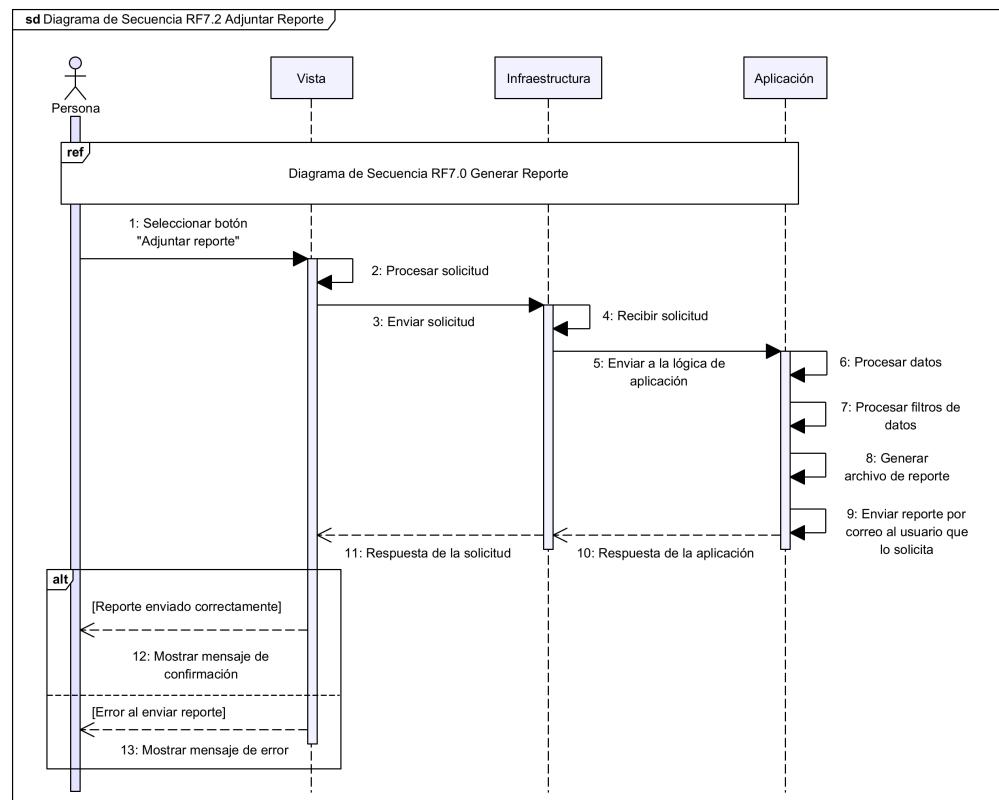
**Figura 34**

Diagrama de Secuencia para Descargar Reporte (RF7.1).



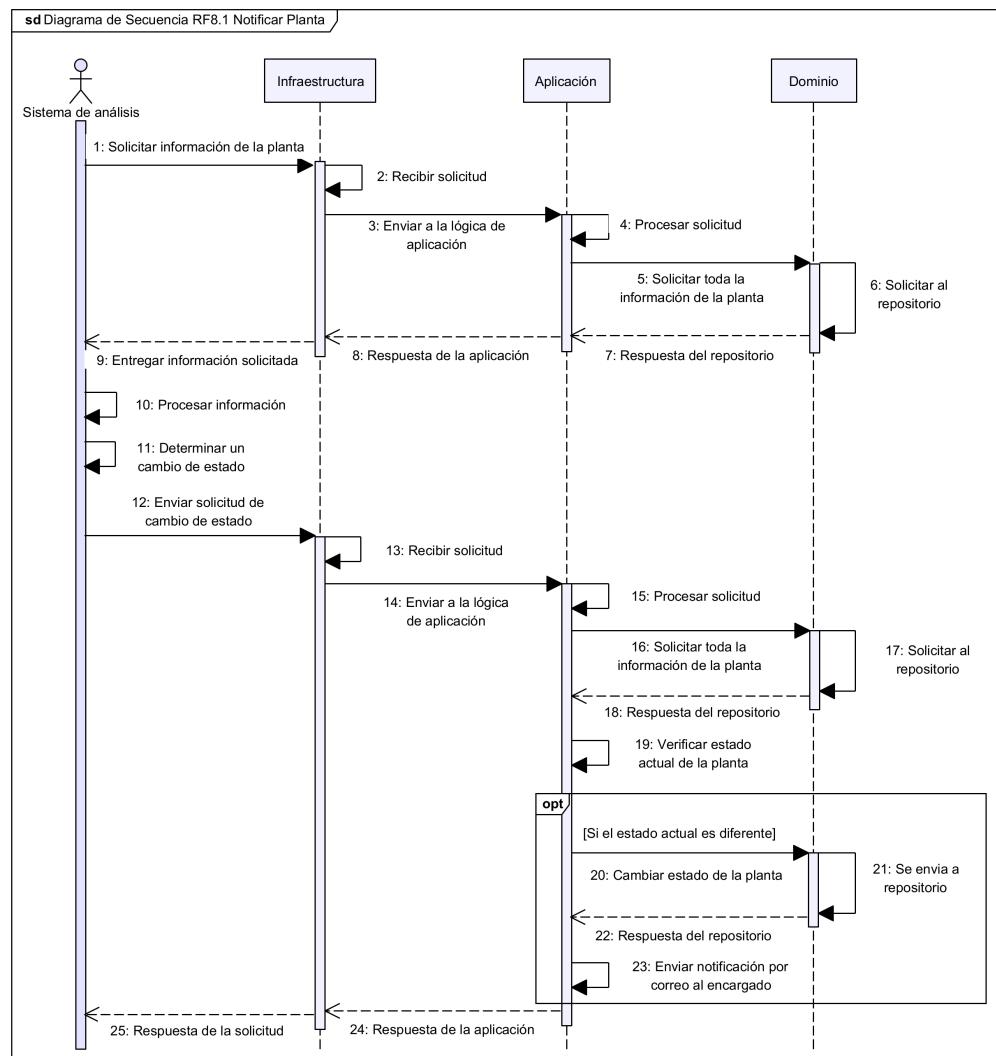
**Figura 35**

*Diagrama de Secuencia para Adjuntar Reporte (RF7.2).*



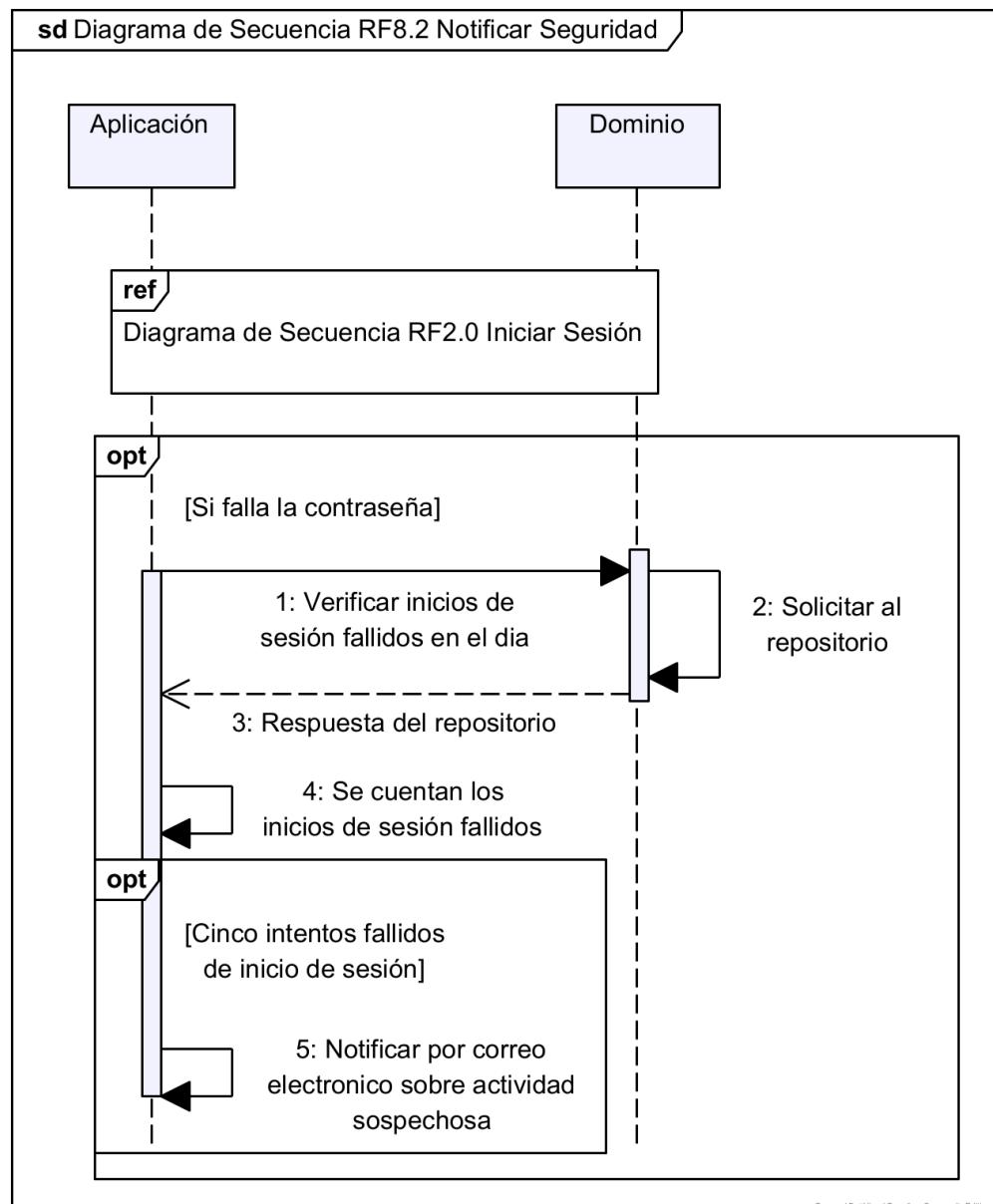
**Figura 36**

Diagrama de Secuencia para Notificar Planta (RF8.1).



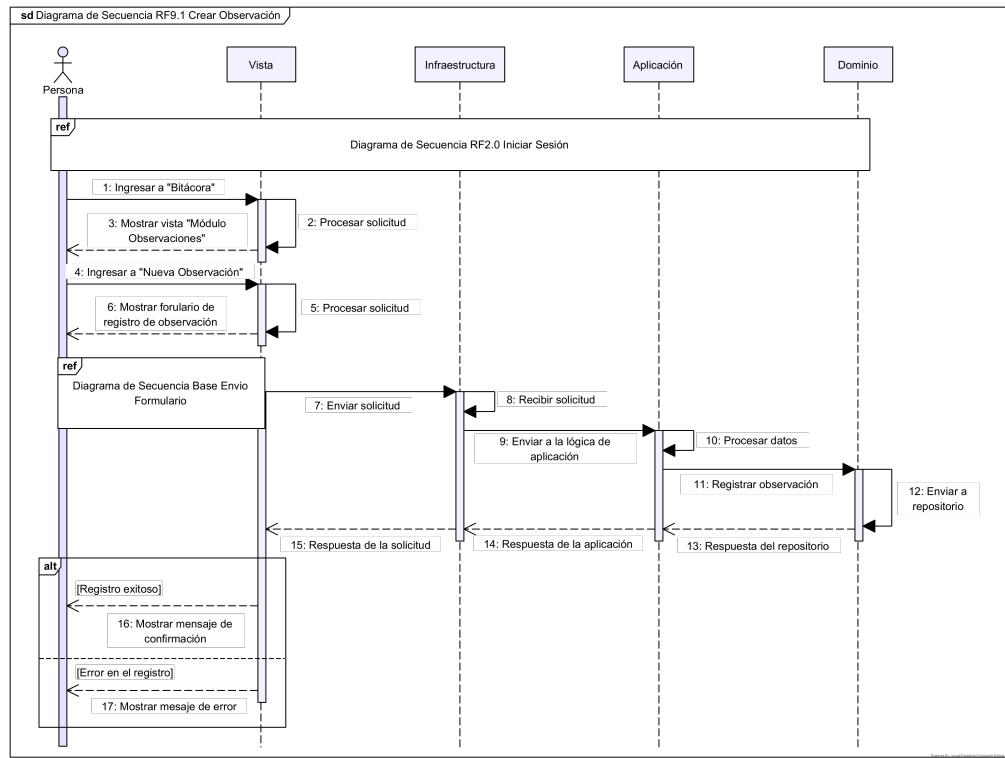
**Figura 37**

Diagrama de Secuencia para Notificar Seguridad (RF8.2).



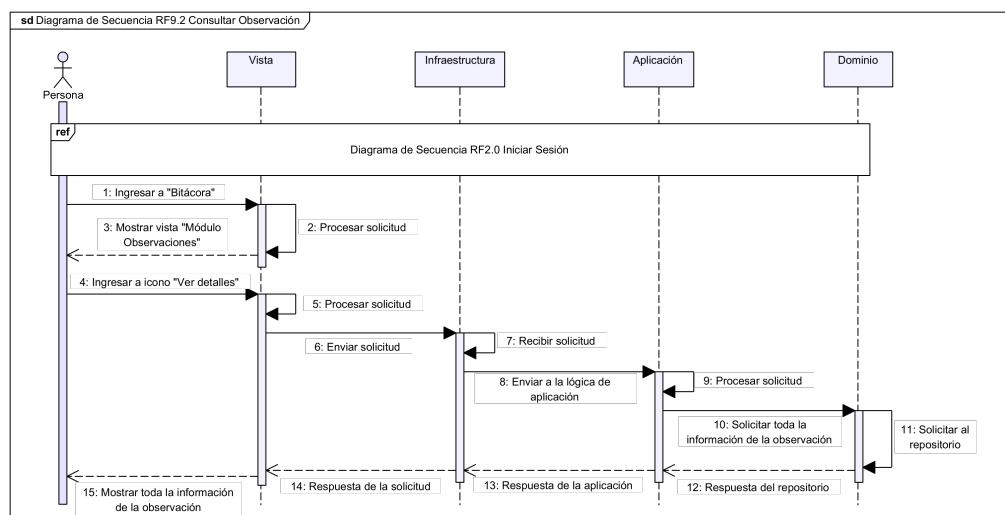
**Figura 38**

Diagrama de Secuencia para Crear Observación (RF9.1).



**Figura 39**

Diagrama de Secuencia para Consultar Observación (RF9.1).

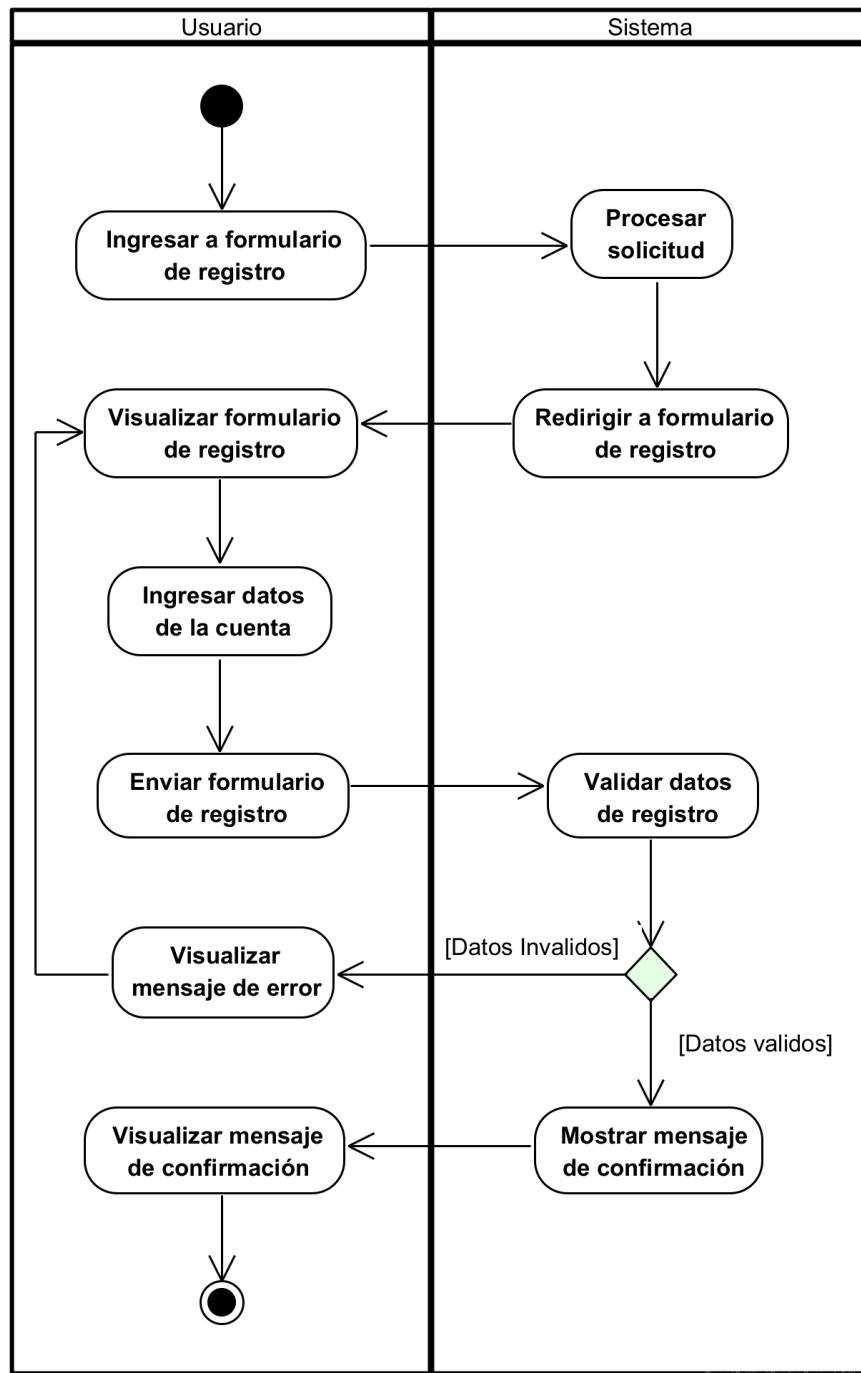




## 2.4.4. Diagramas de Actividades

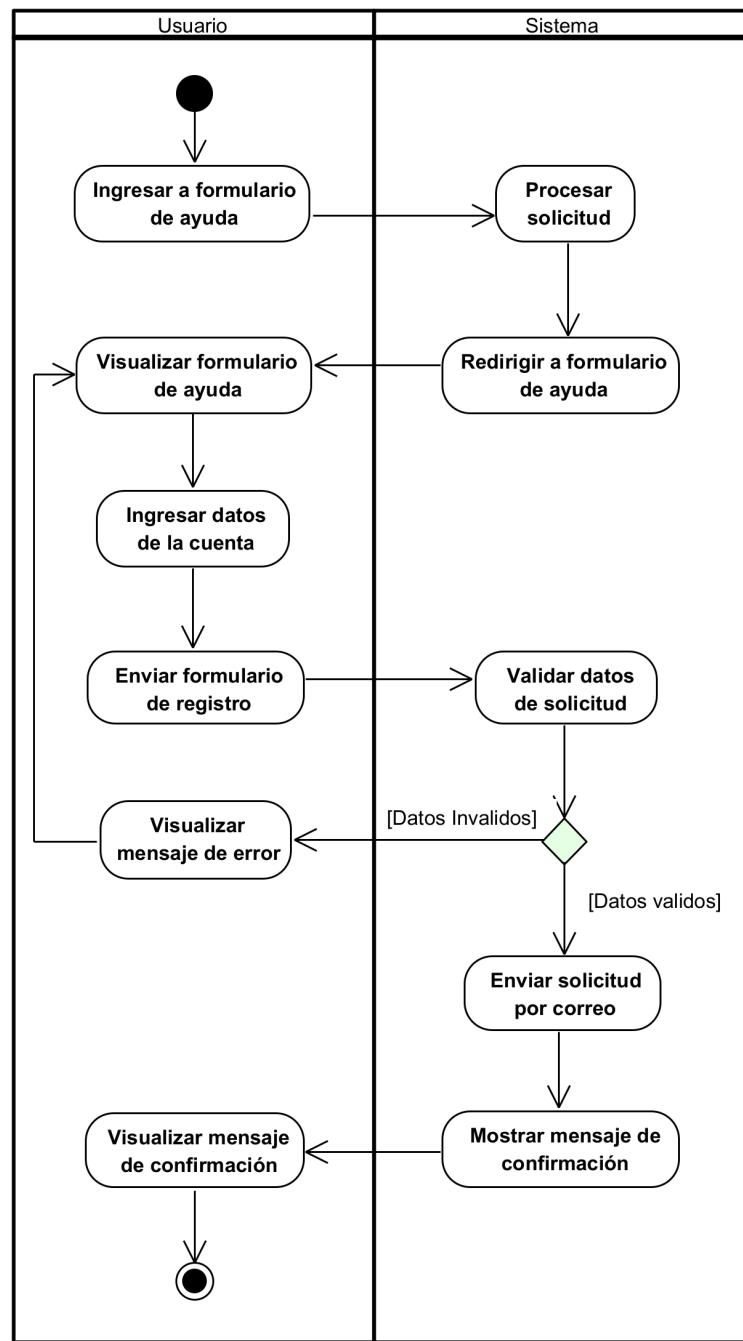
Figura 40

Diagrama de Actividad para el Registro (RF1.0).



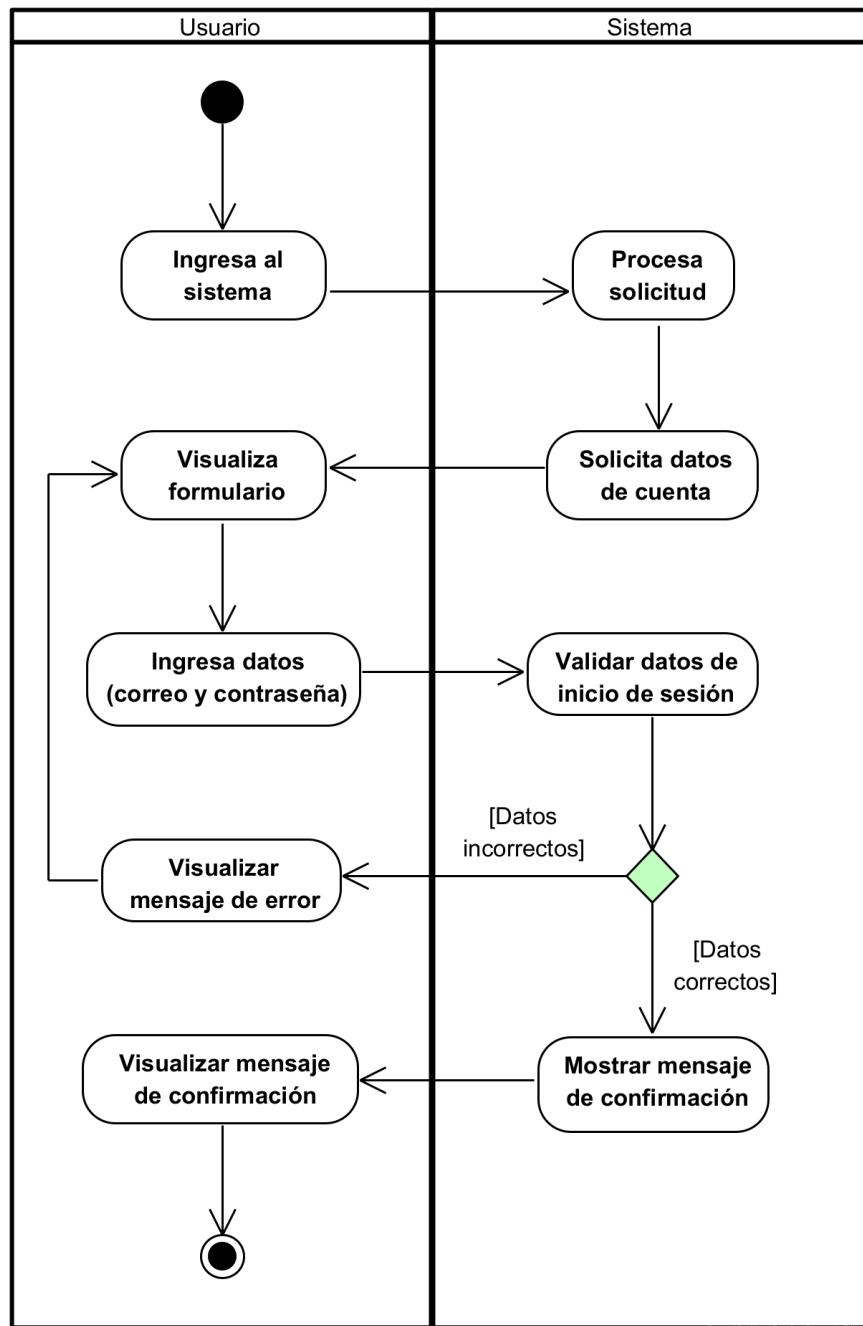
**Figura 41**

Diagrama de Actividad para Solicitar Código (RF1.1).



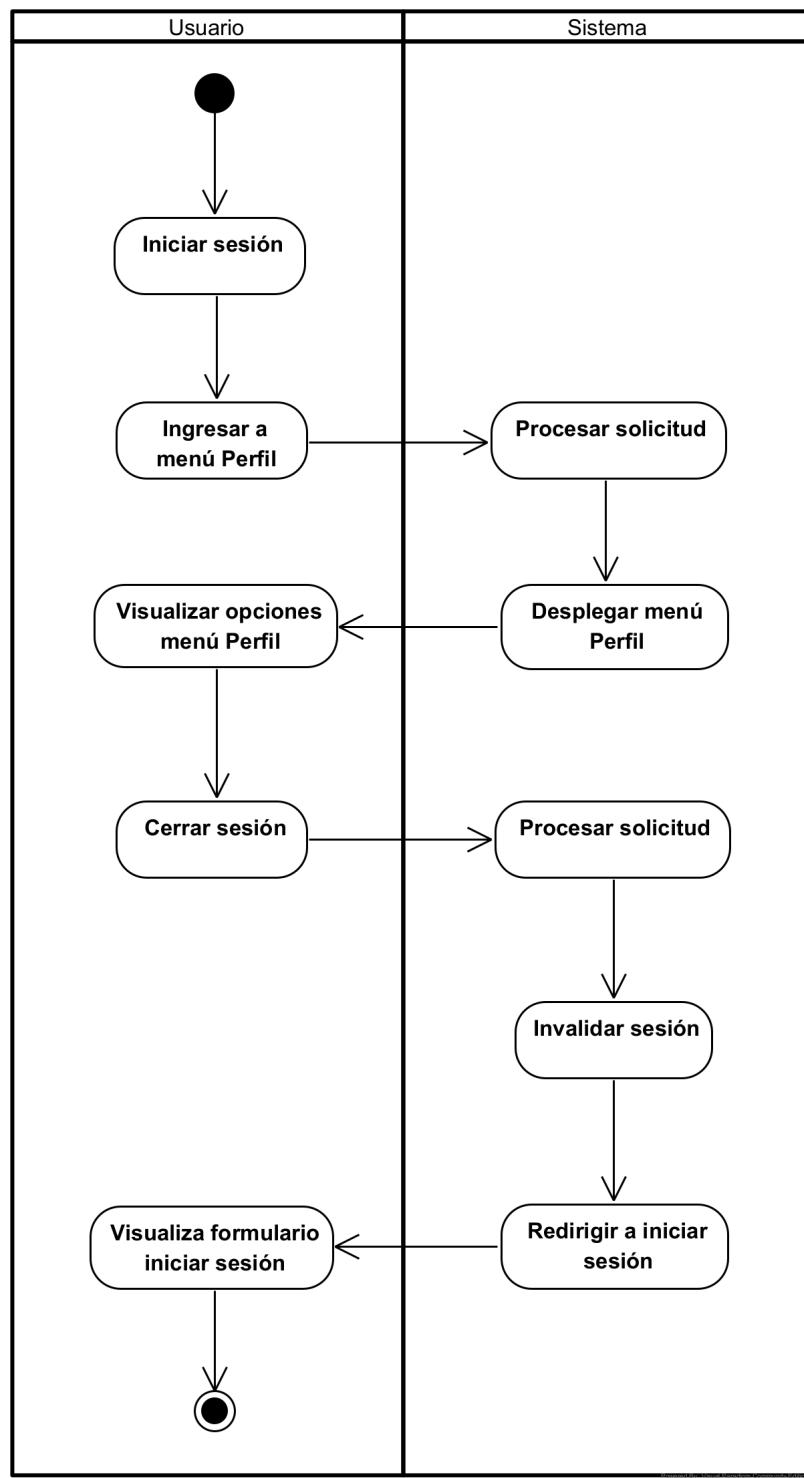
**Figura 42**

Diagrama de Actividad para Iniciar Sesión (RF2.0).



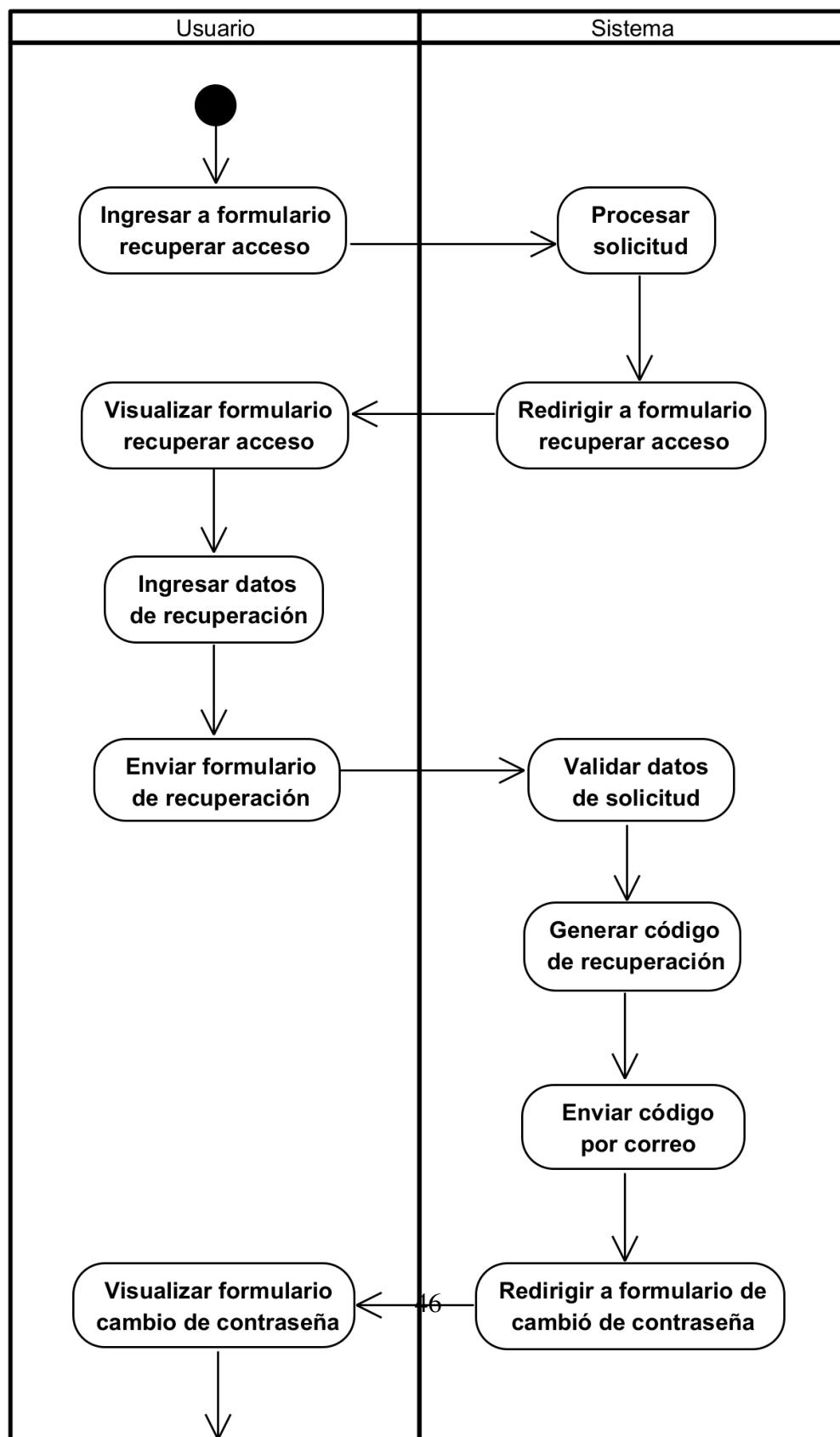
**Figura 43**

Diagrama de Actividad para Cerrar Sesión (RF2.1).



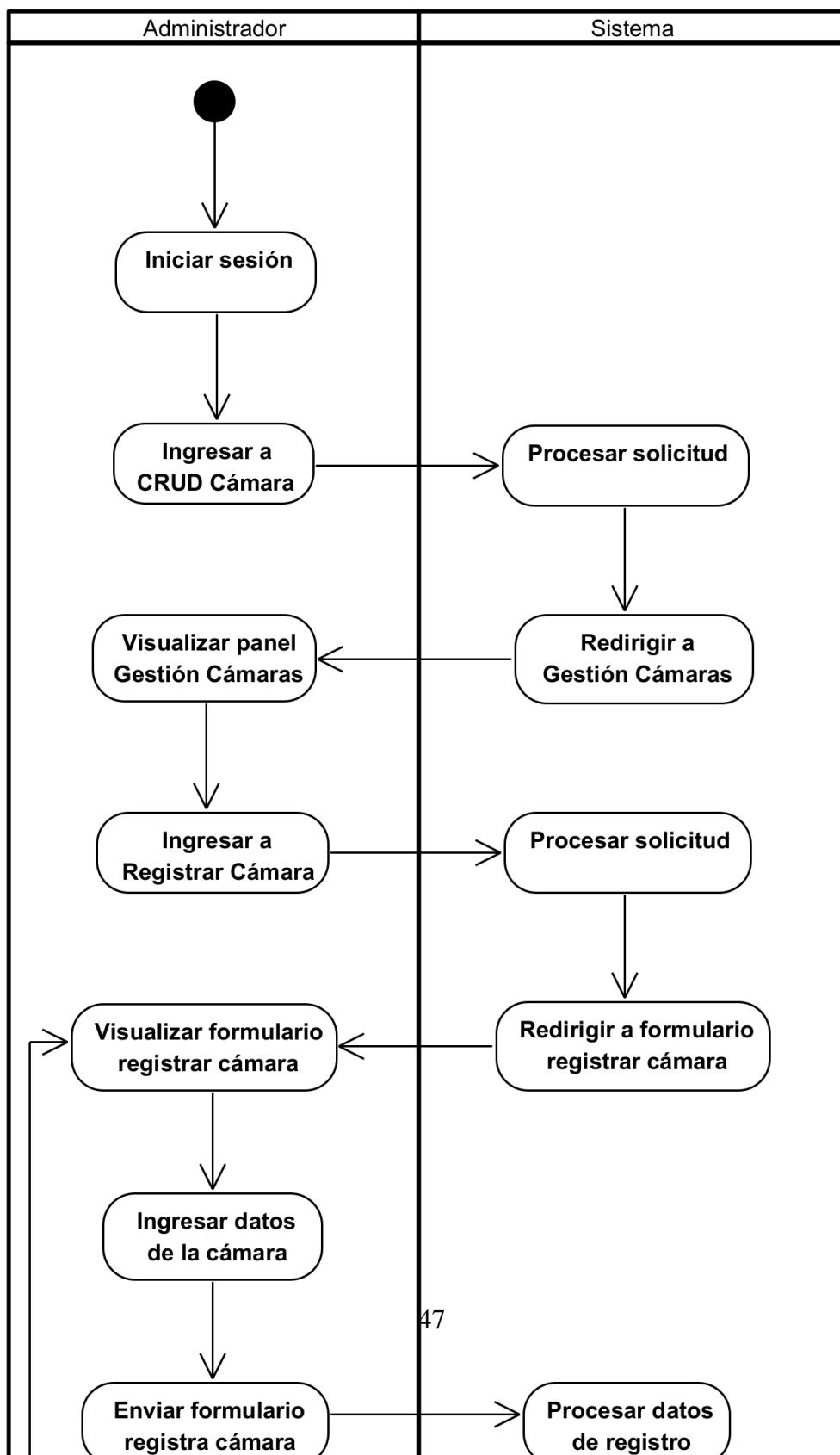
**Figura 44**

*Diagrama de Actividad para Recuperar Contraseña (RF2.2).*



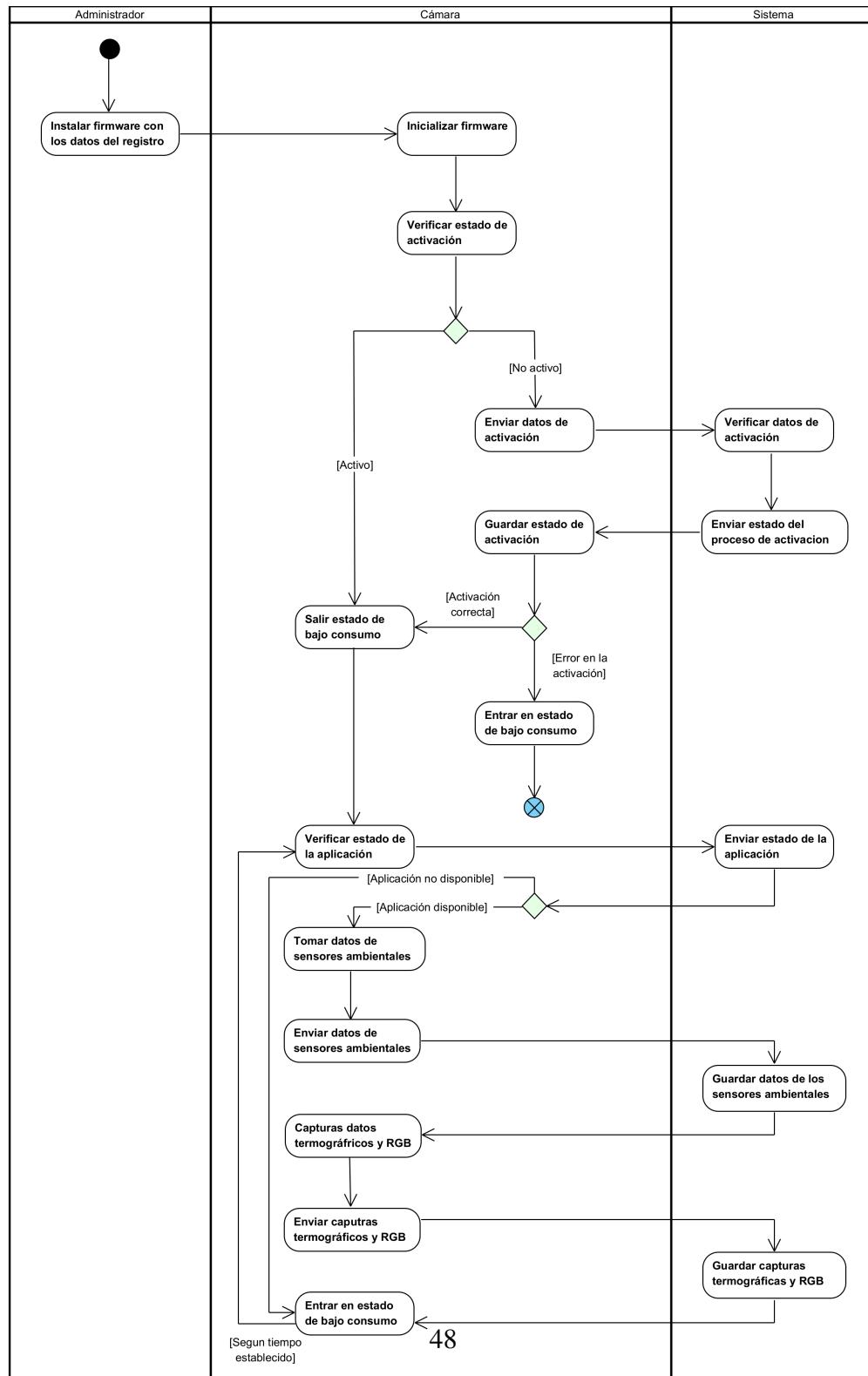
**Figura 45**

Diagrama de Actividad para Crear Cámara (RF3.1).



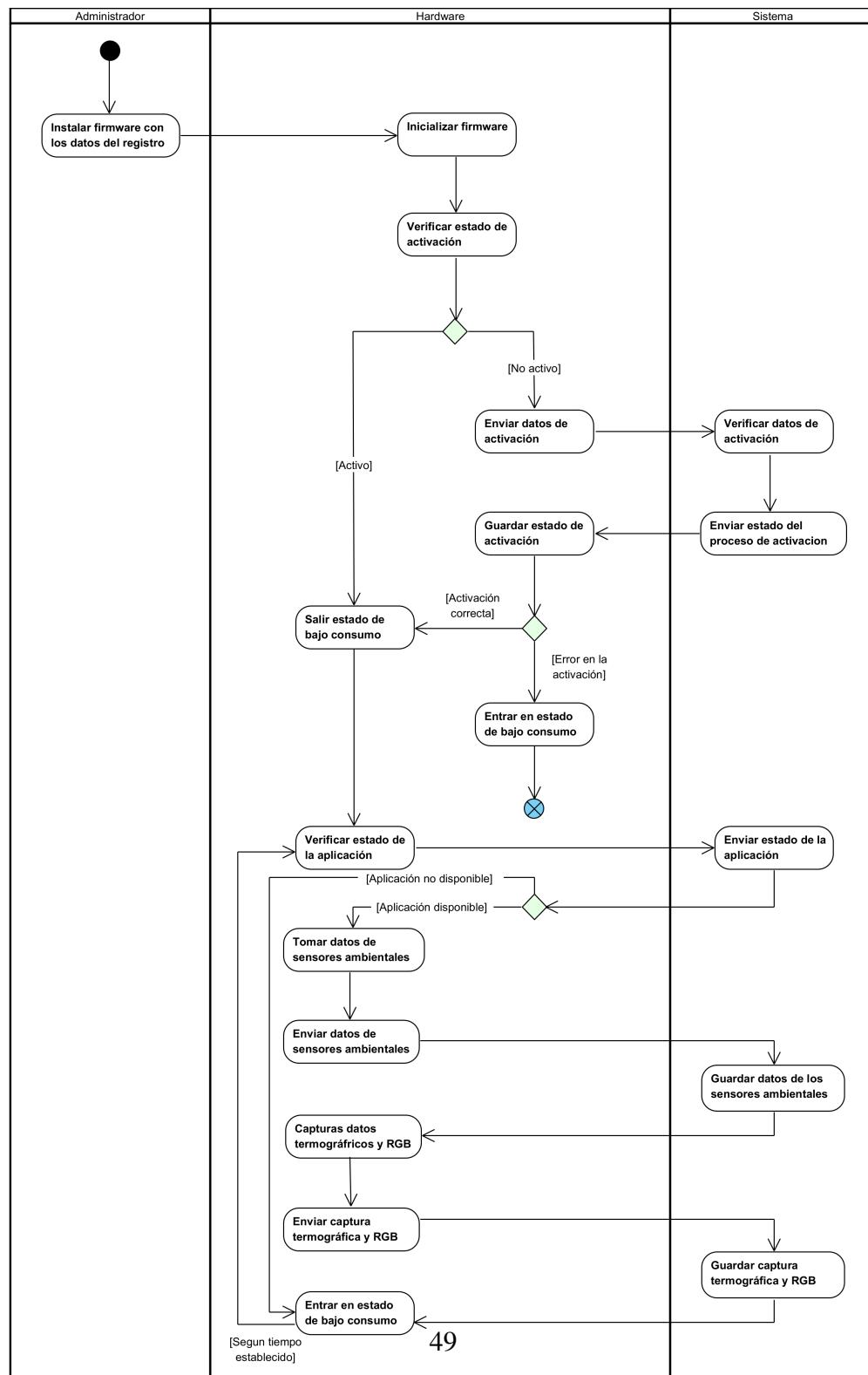
**Figura 46**

Diagrama de Actividad para Activar Cámara (RF3.1.1).



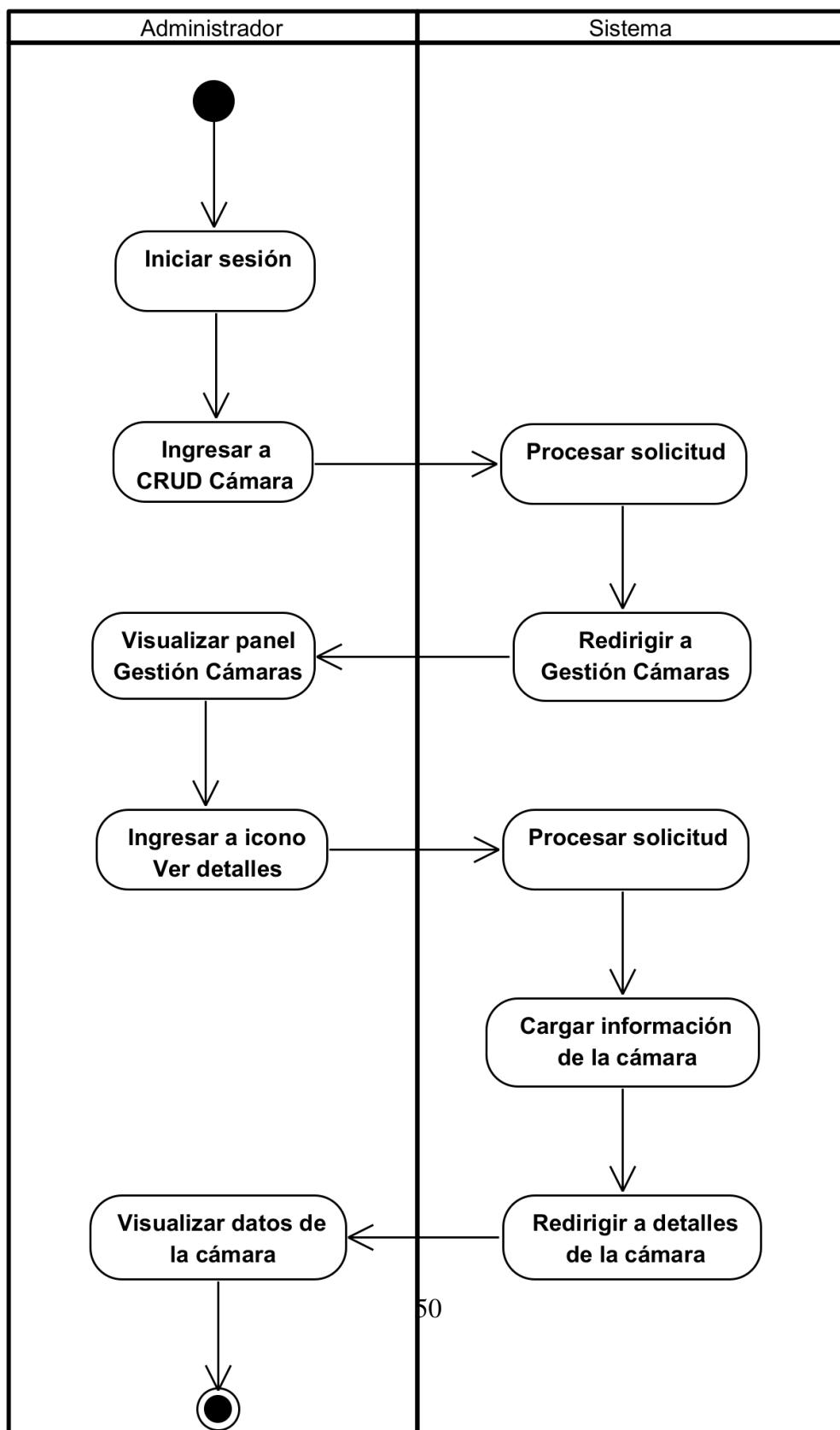
**Figura 47**

Diagrama de Actividad para Activar Hardware (RF3.1.1).



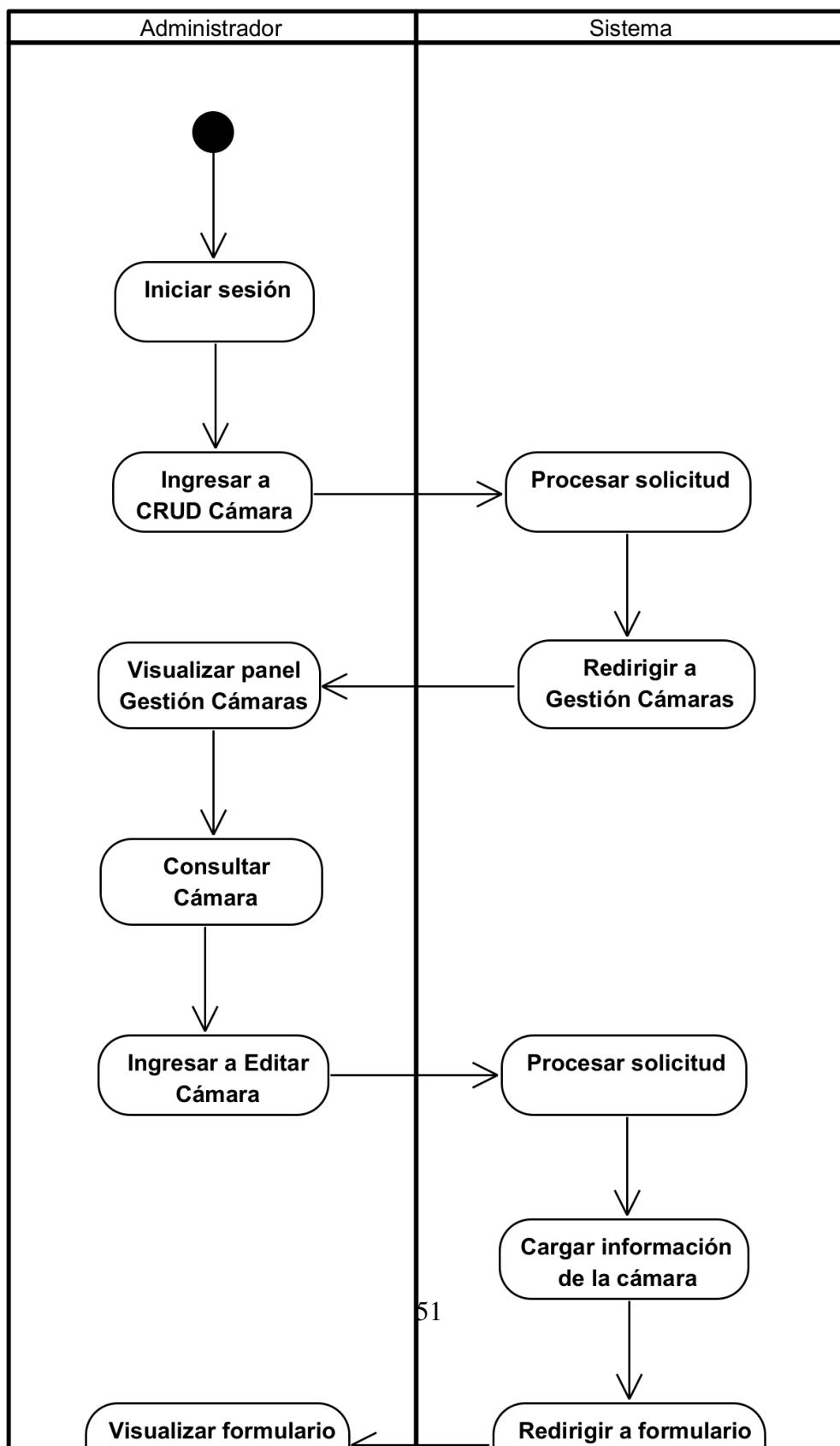
**Figura 48**

*Diagrama de Actividad para Consultar Cámara (RF3.2).*



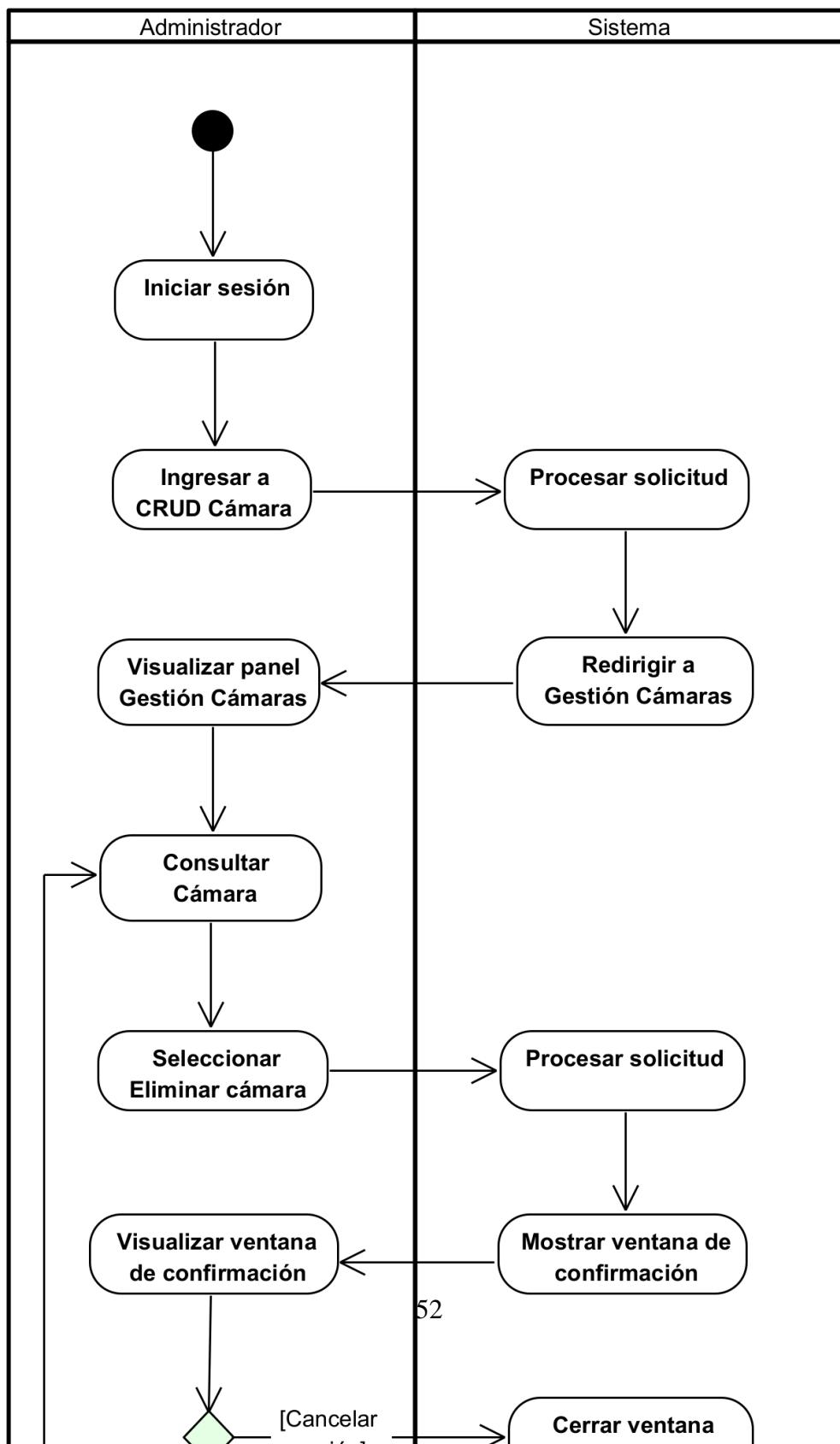
**Figura 49**

Diagrama de Actividad para Editar Cámara (RF3.3).



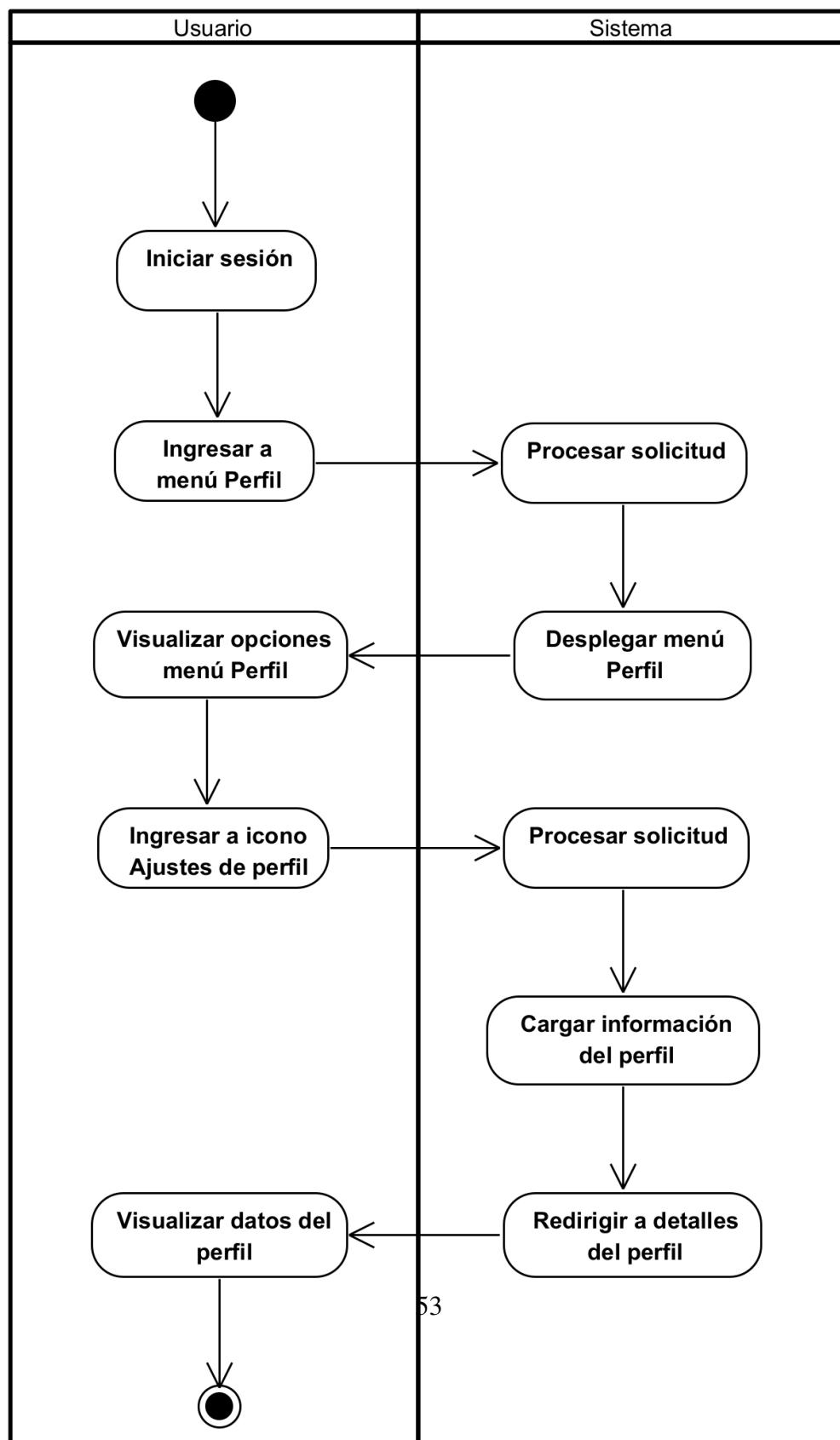
**Figura 50**

Diagrama de Actividad para Eliminar Cámara (RF3.4).



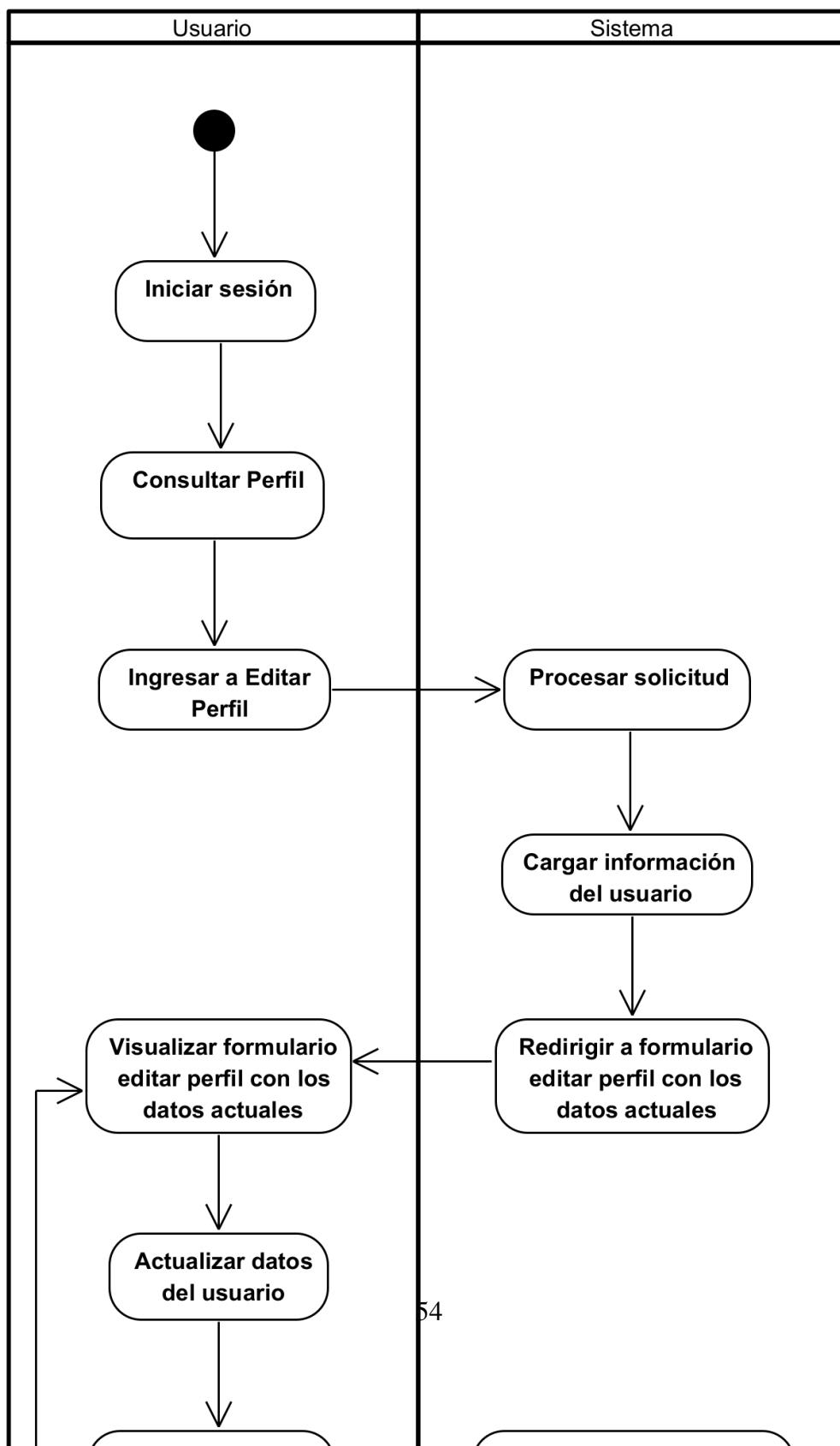
**Figura 51**

*Diagrama de Actividad para Consultar Perfil (RF4.1).*



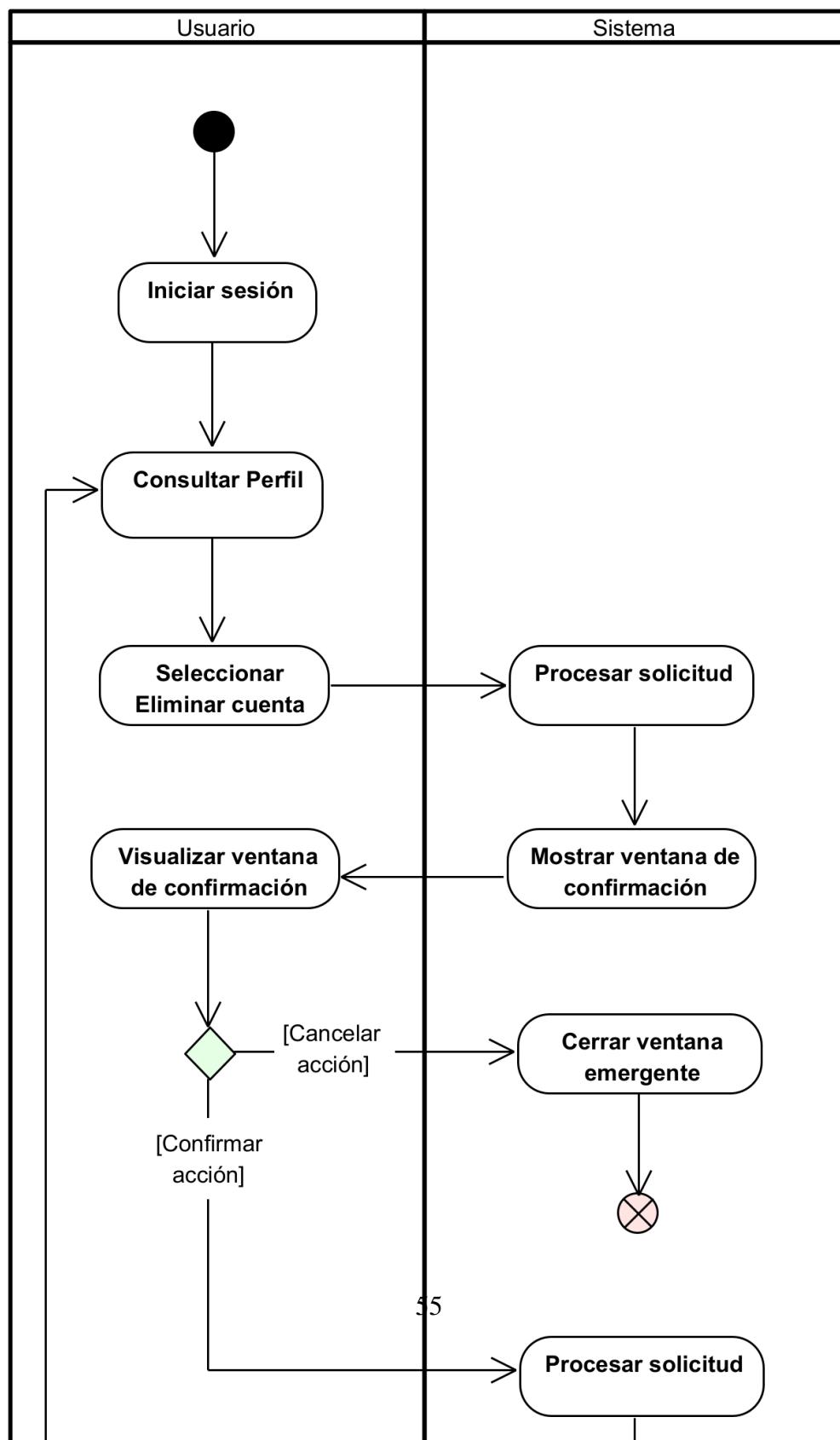
**Figura 52**

Diagrama de Actividad para Editar Perfil (RF4.2).



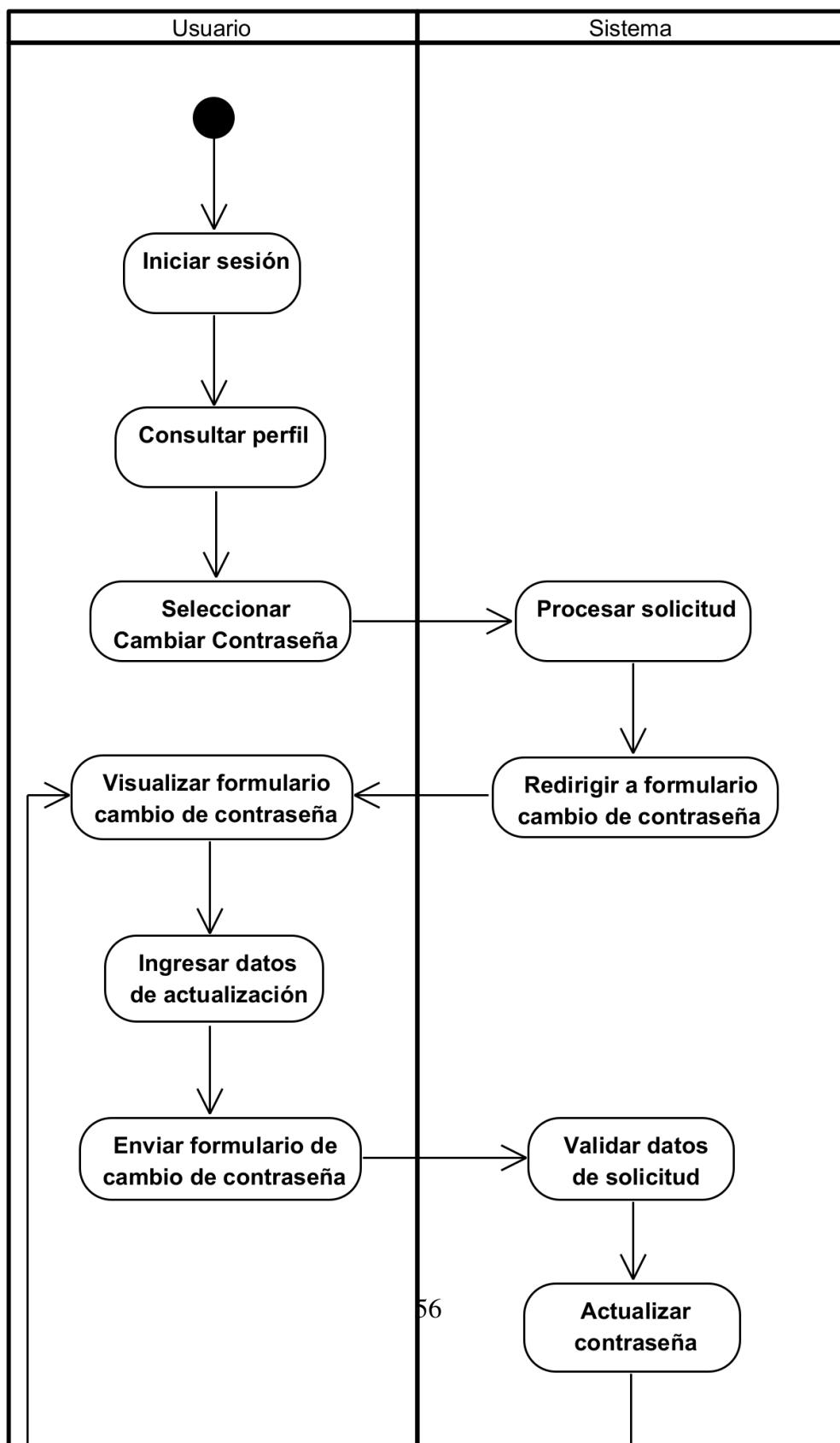
**Figura 53**

Diagrama de Actividad para Eliminar Perfil (RF4.3).



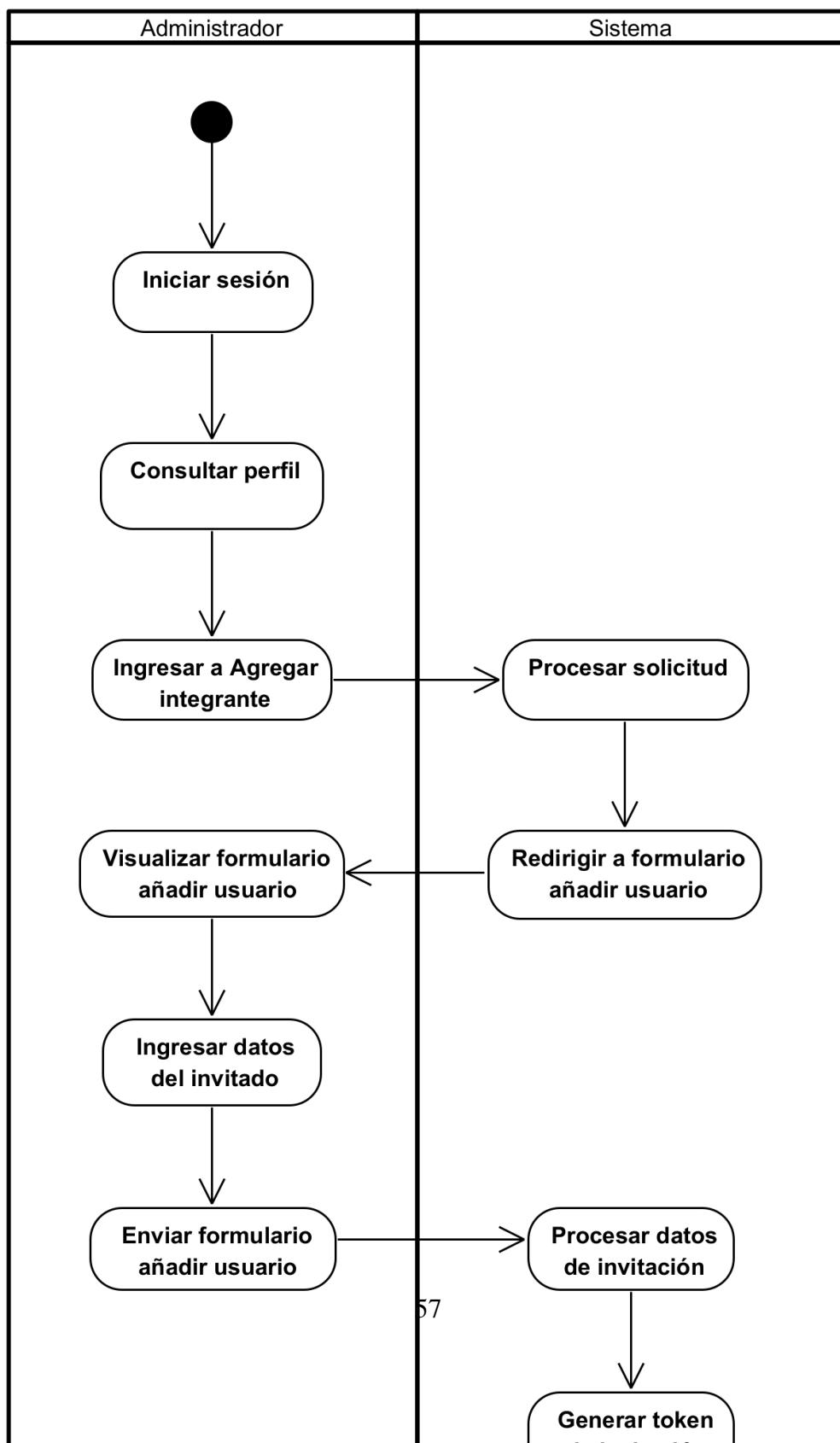
**Figura 54**

Diagrama de Actividad para Cambiar Contraseña (RF4.4).



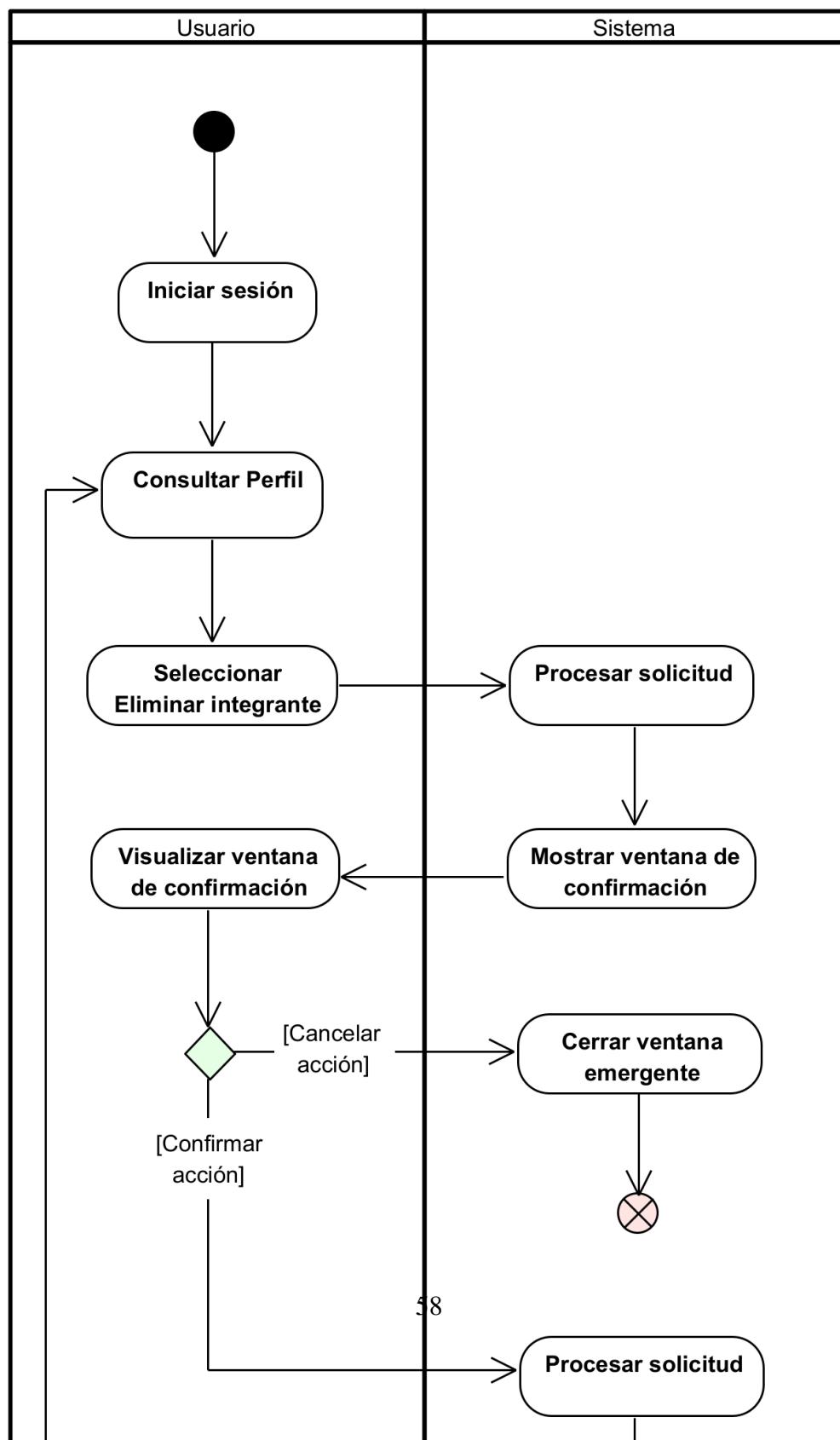
**Figura 55**

Diagrama de Actividad para Agregar Integrante de Cultivo (RF4.5).



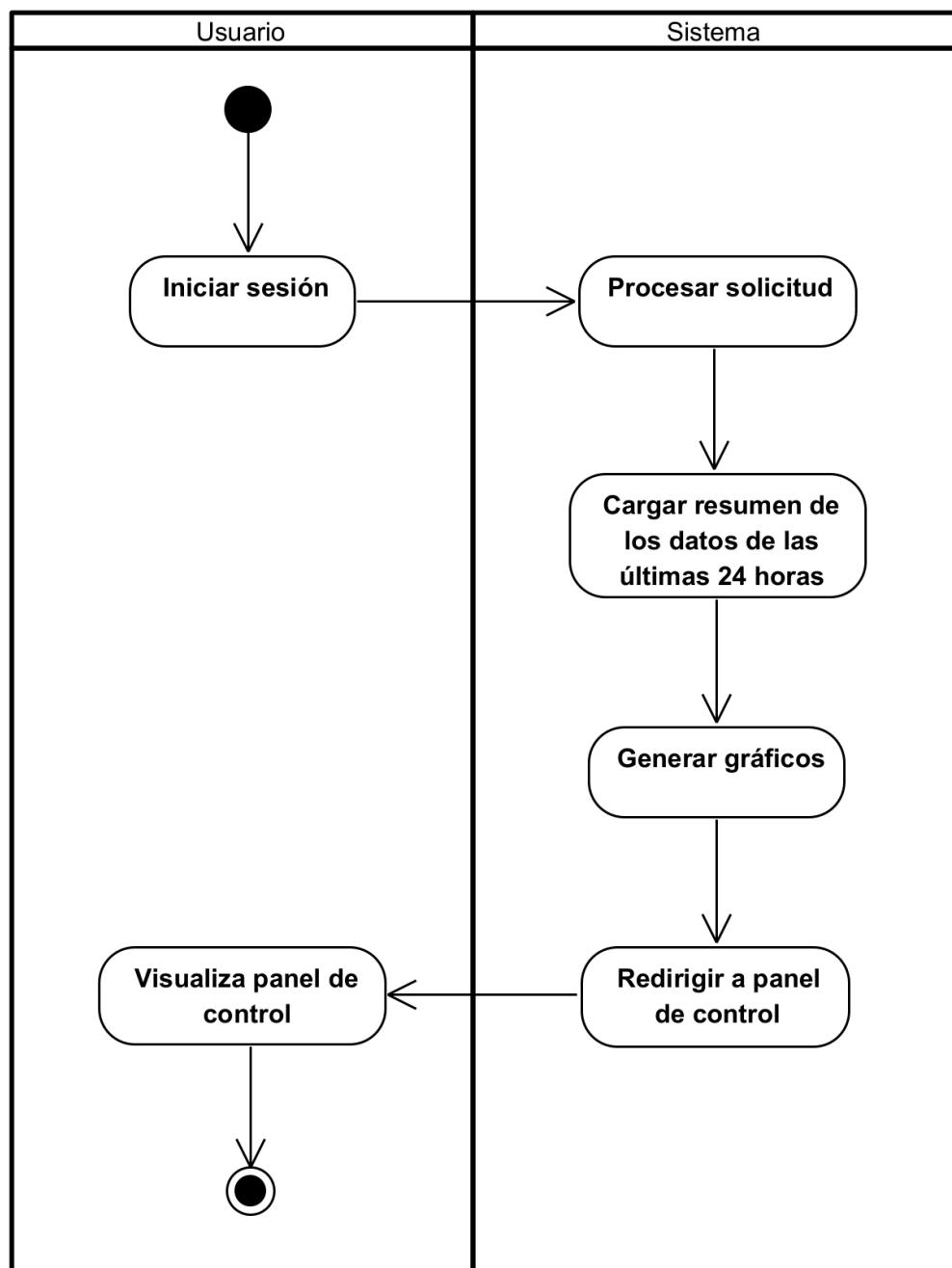
**Figura 56**

Diagrama de Actividad para Eliminar Integrante de Cultivo (RF4.6).



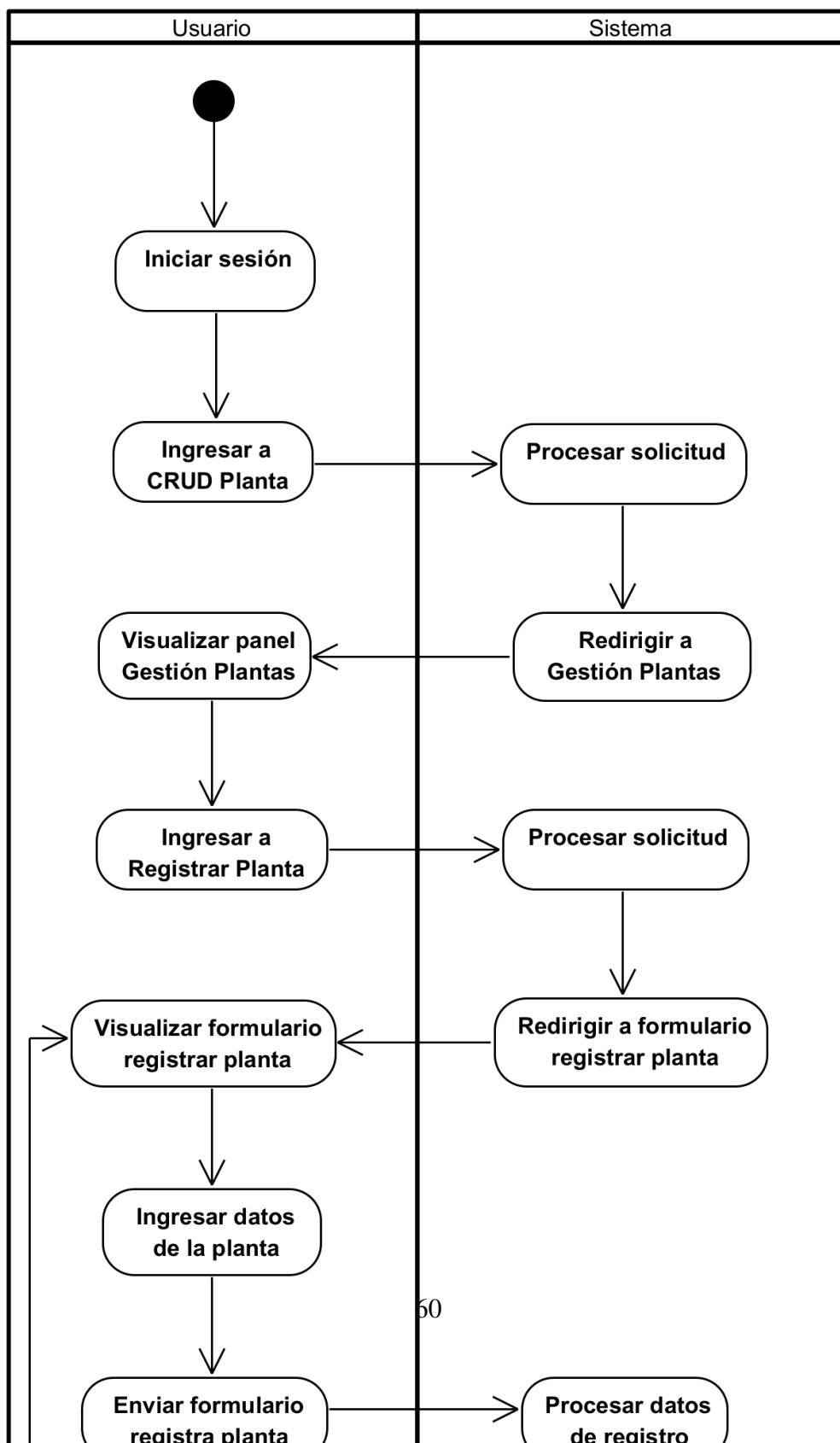
**Figura 57**

Diagrama de Actividad para el Módulo de Mediciones (RF5.0).



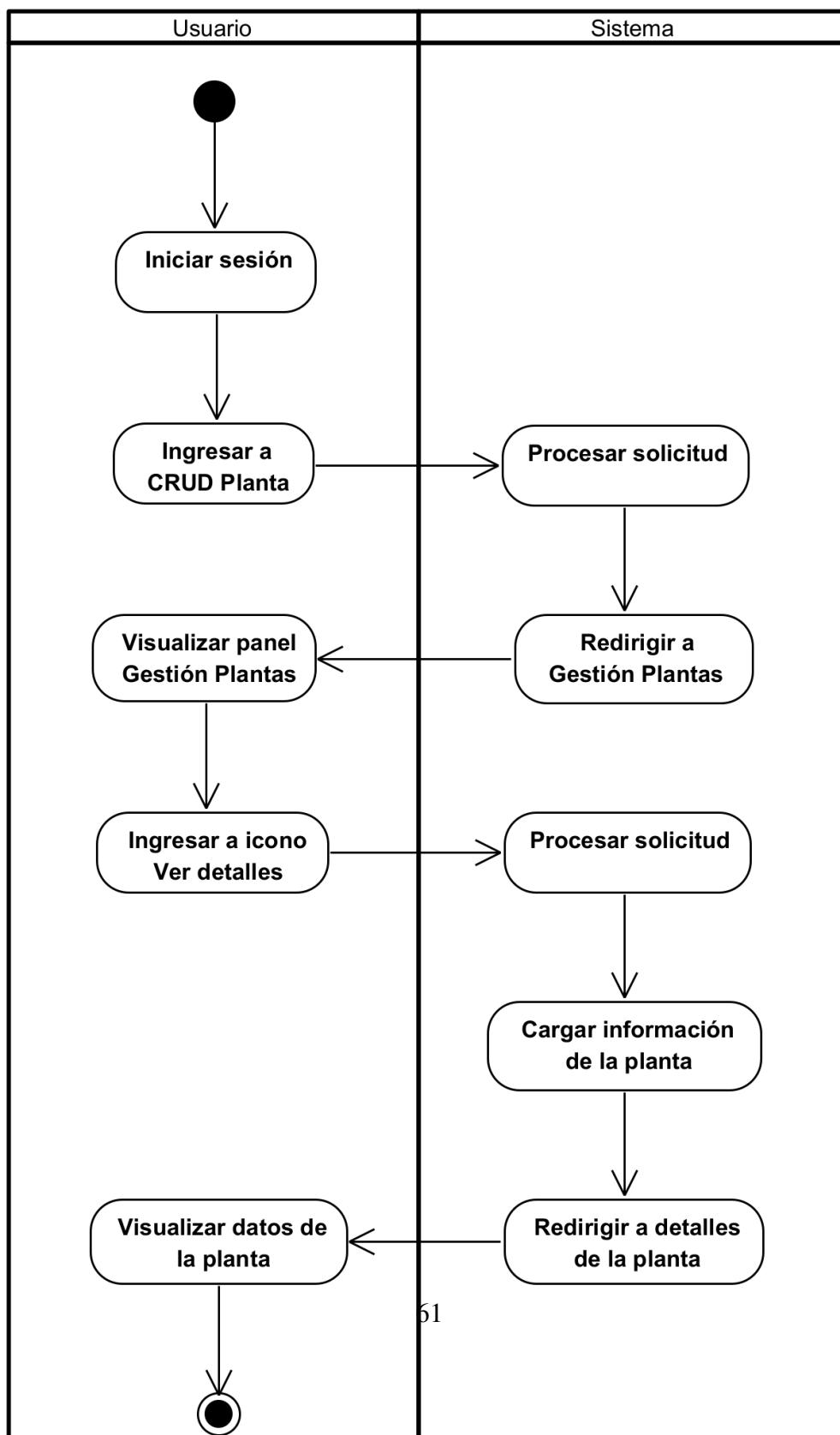
**Figura 58**

Diagrama de Actividad para Crear Planta (RF6.1).



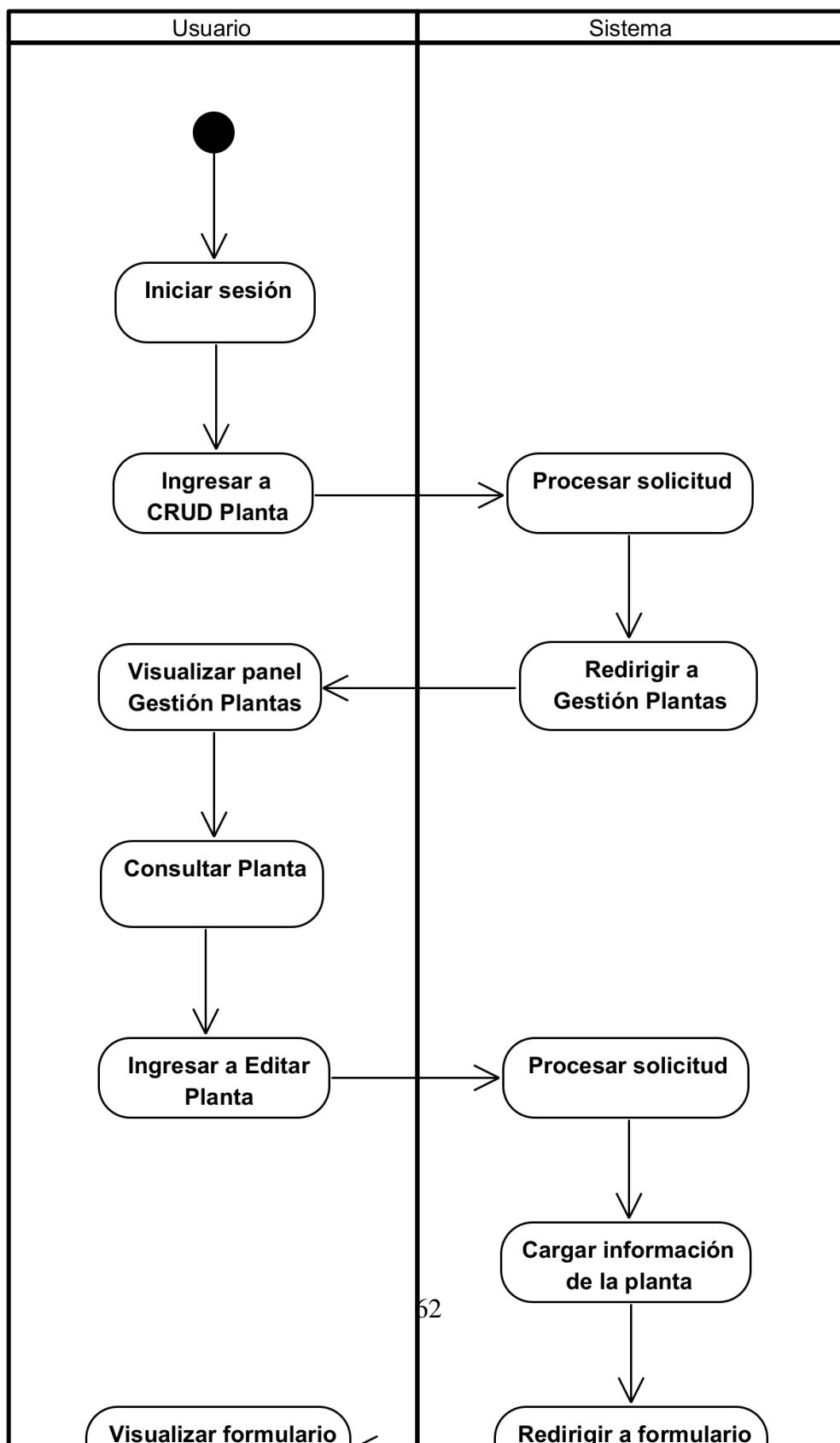
**Figura 59**

Diagrama de Actividad para Consultar Planta (RF6.2).



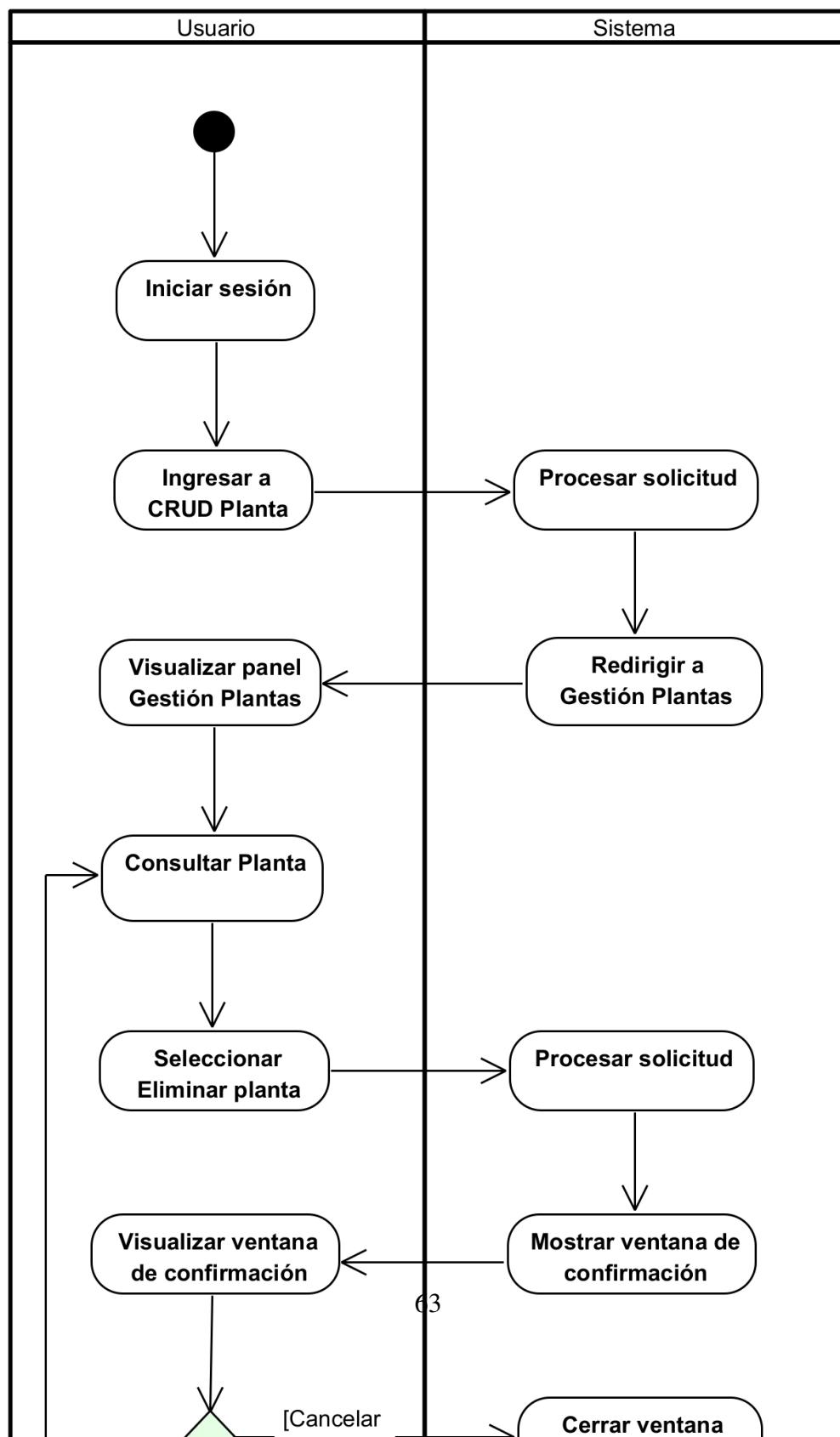
**Figura 60**

Diagrama de Actividad para Editar Planta (RF6.3).



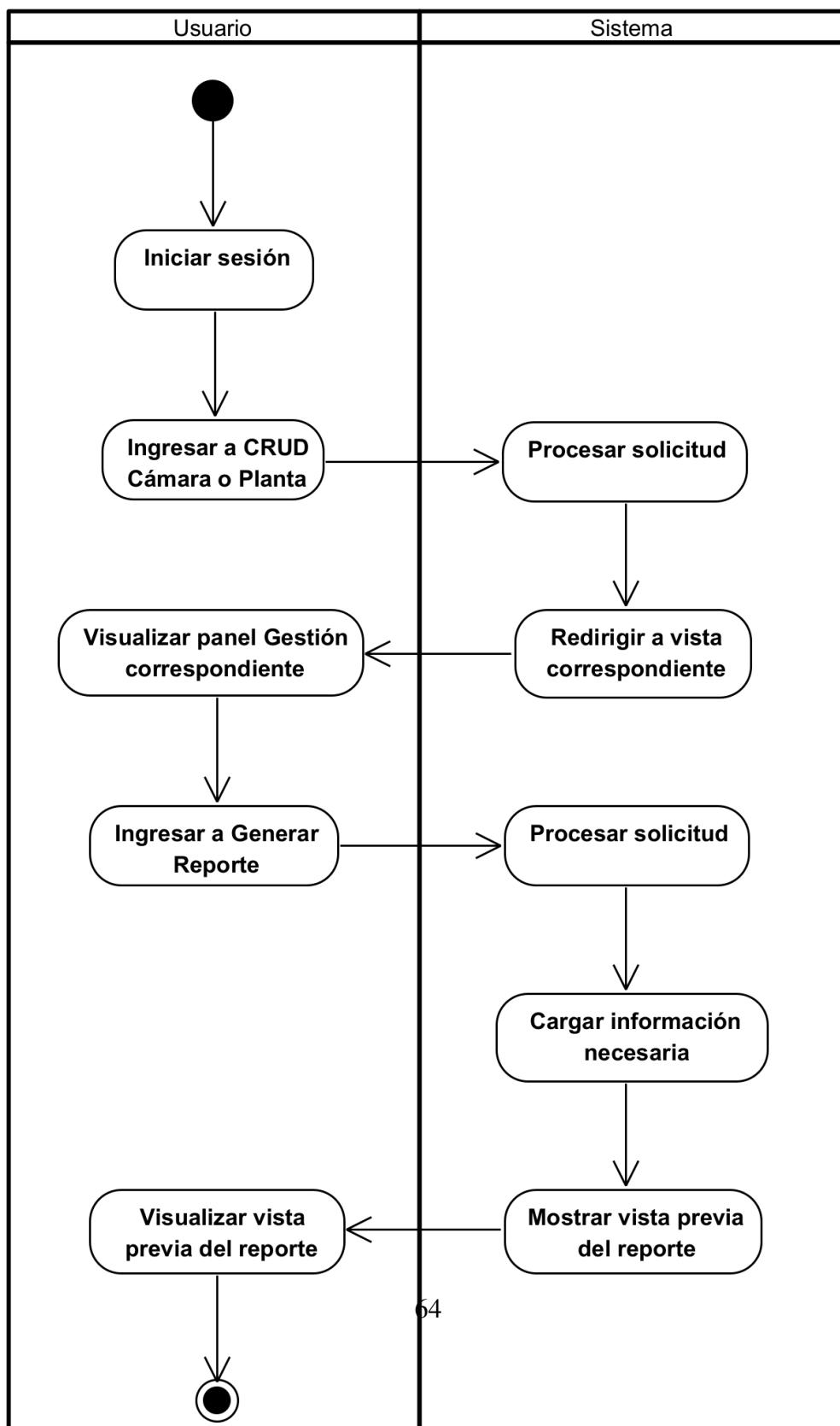
**Figura 61**

Diagrama de Actividad para Eliminar Planta (RF6.4).



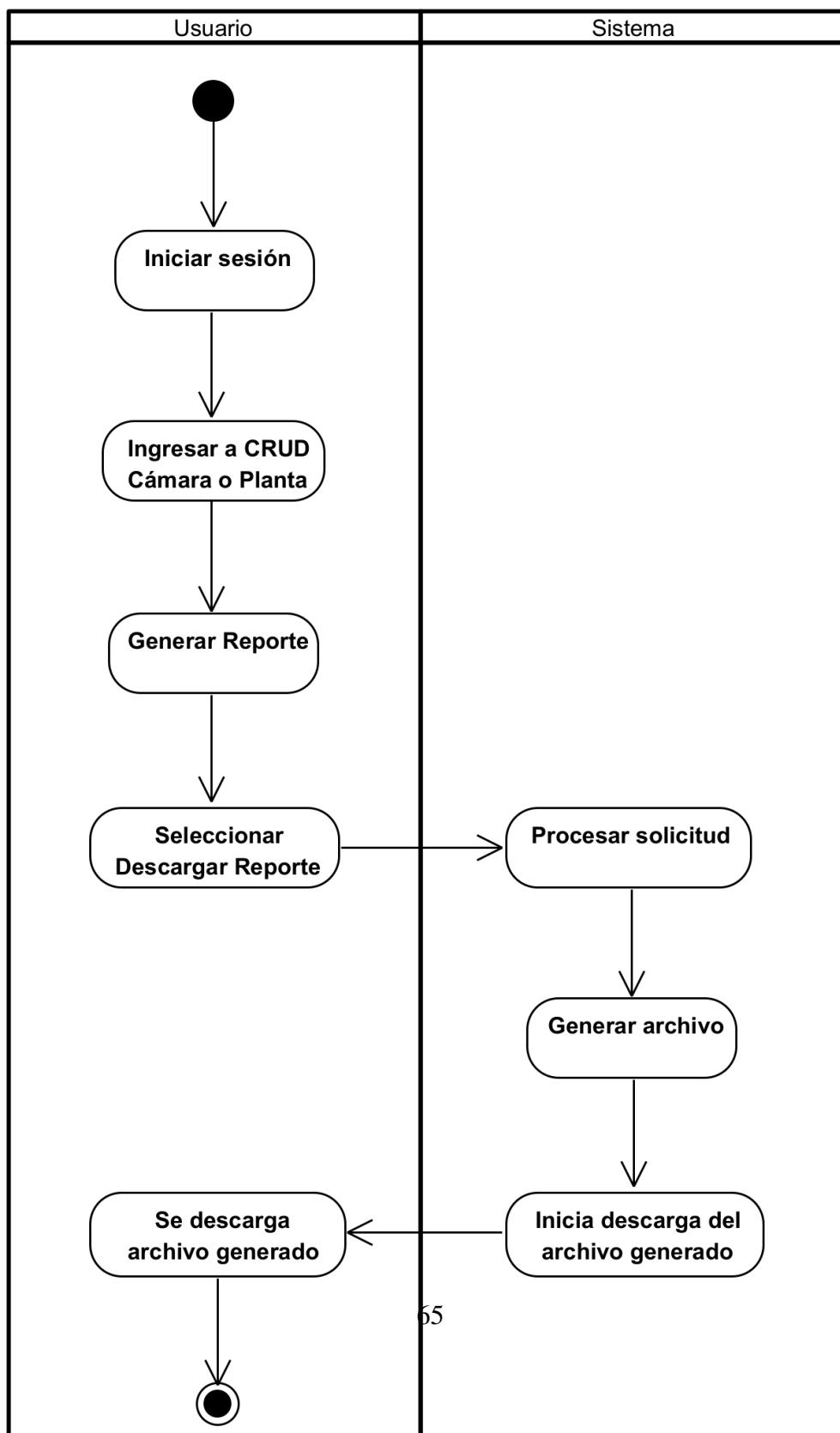
**Figura 62**

Diagrama de Actividad para Generar Reporte (RF7.0).



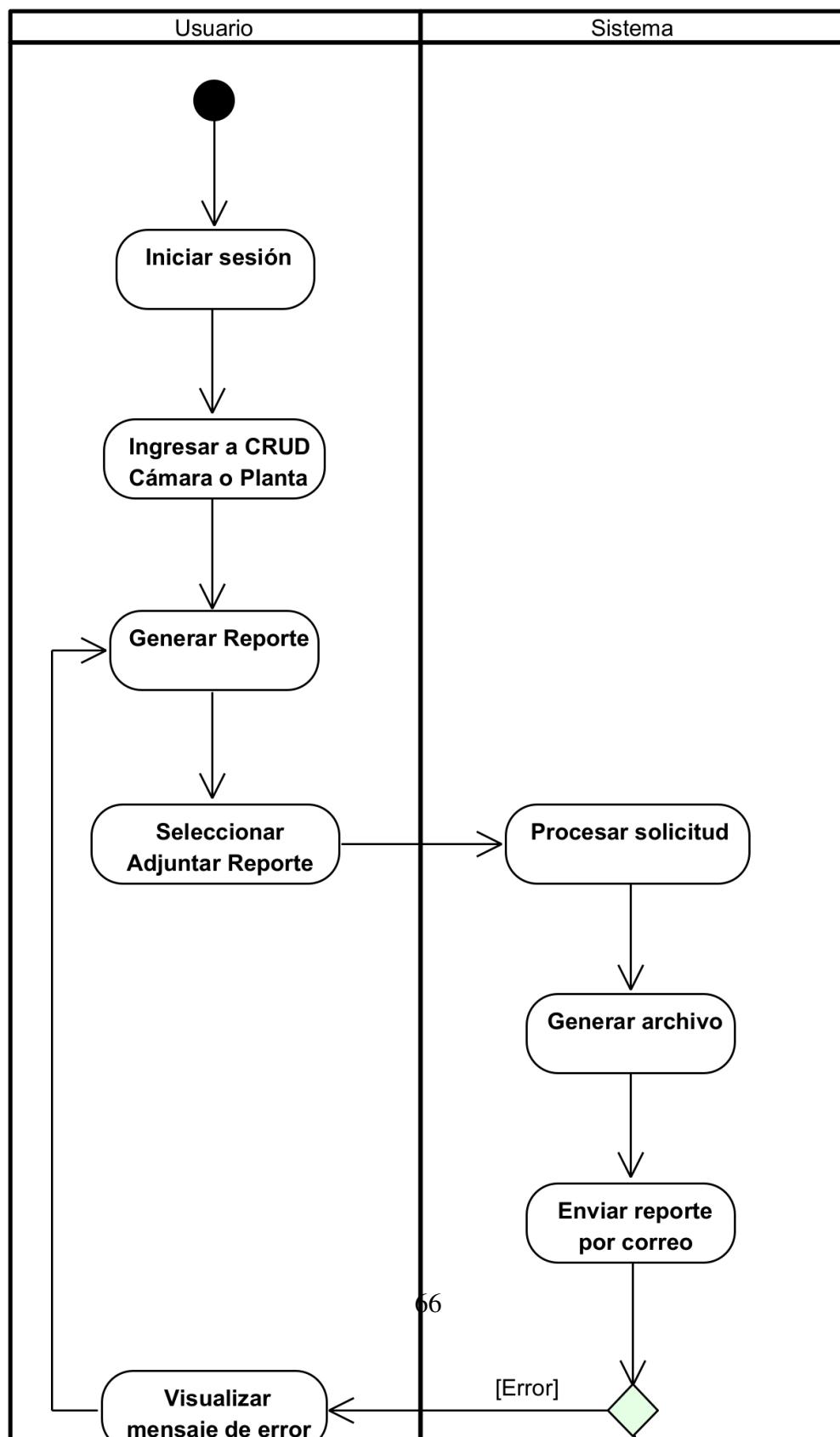
**Figura 63**

*Diagrama de Actividad para Descargar Reporte (RF7.1).*



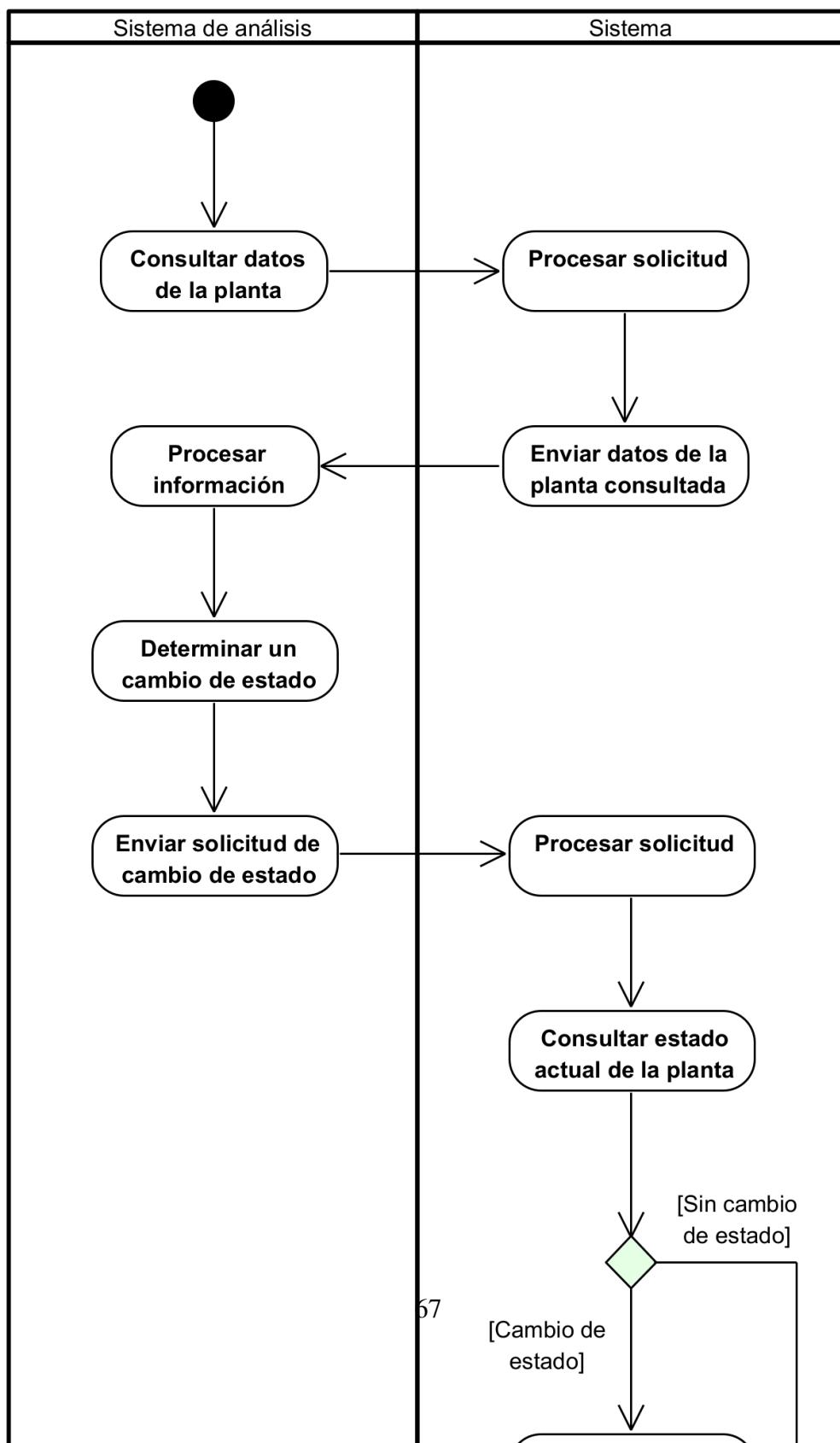
**Figura 64**

Diagrama de Actividad para Adjuntar Reporte (RF7.2).



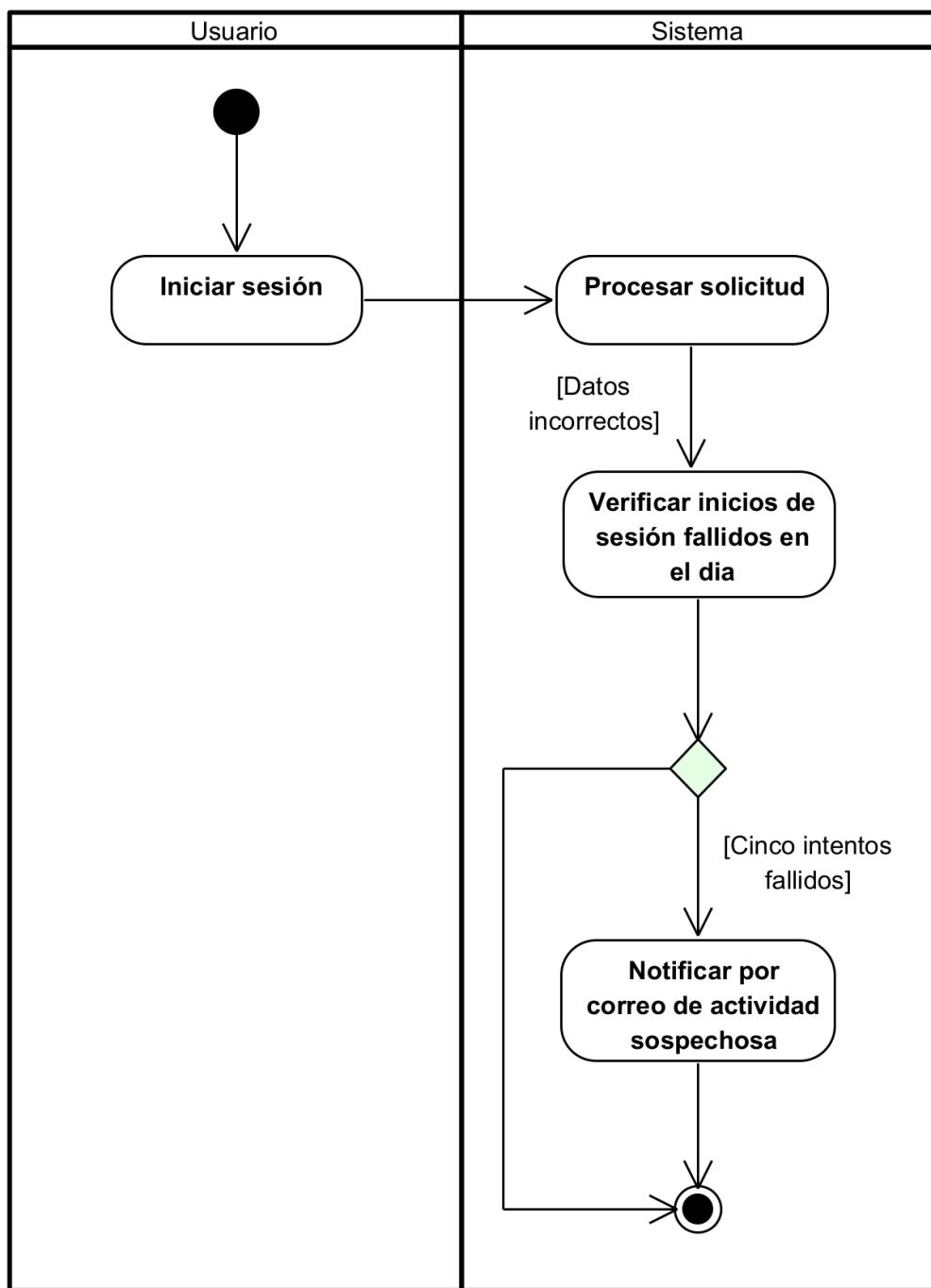
**Figura 65**

Diagrama de Actividad para Notificar Planta (RF8.1).



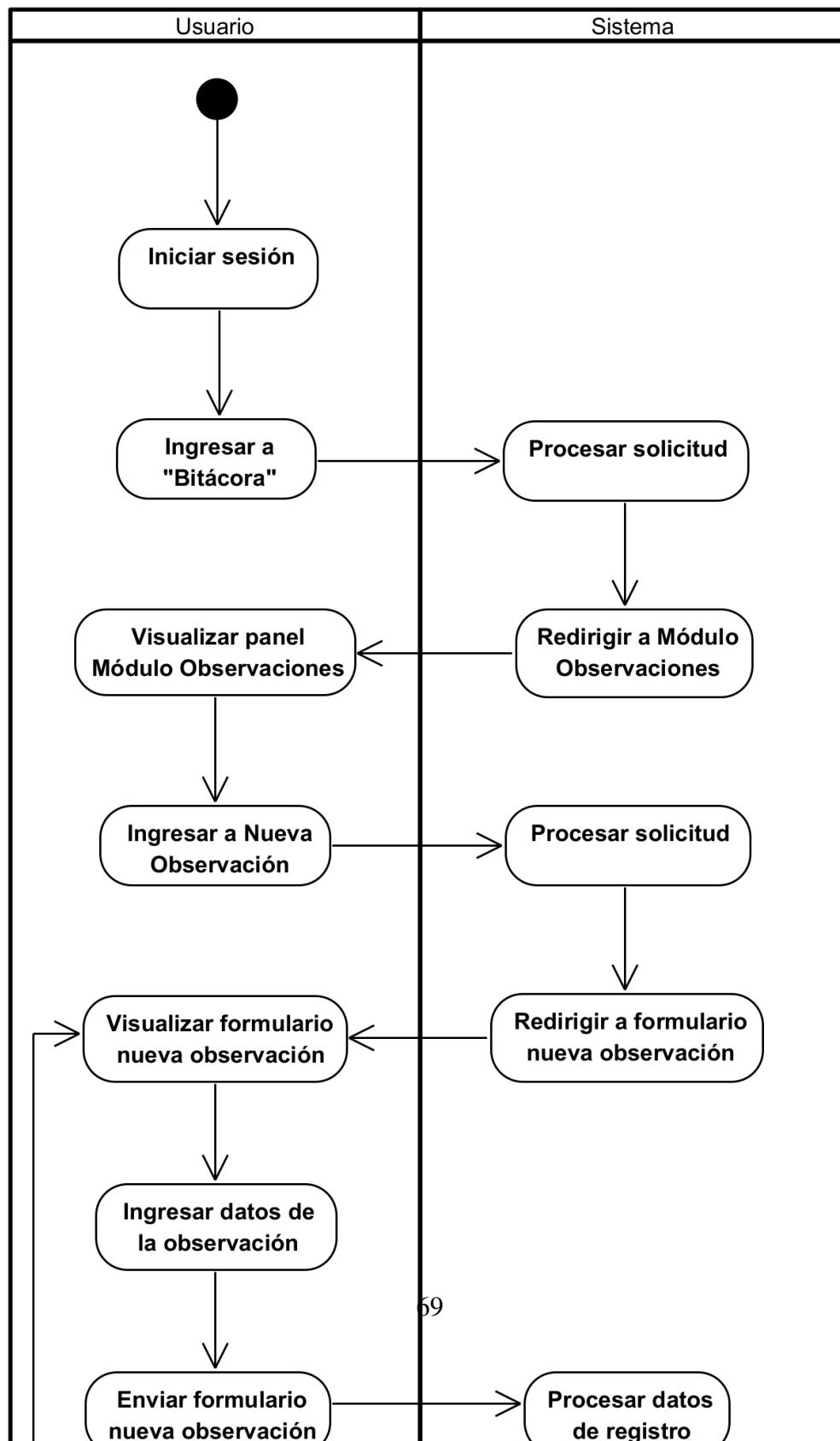
**Figura 66**

Diagrama de Actividad para Notificar Seguridad (RF8.2).



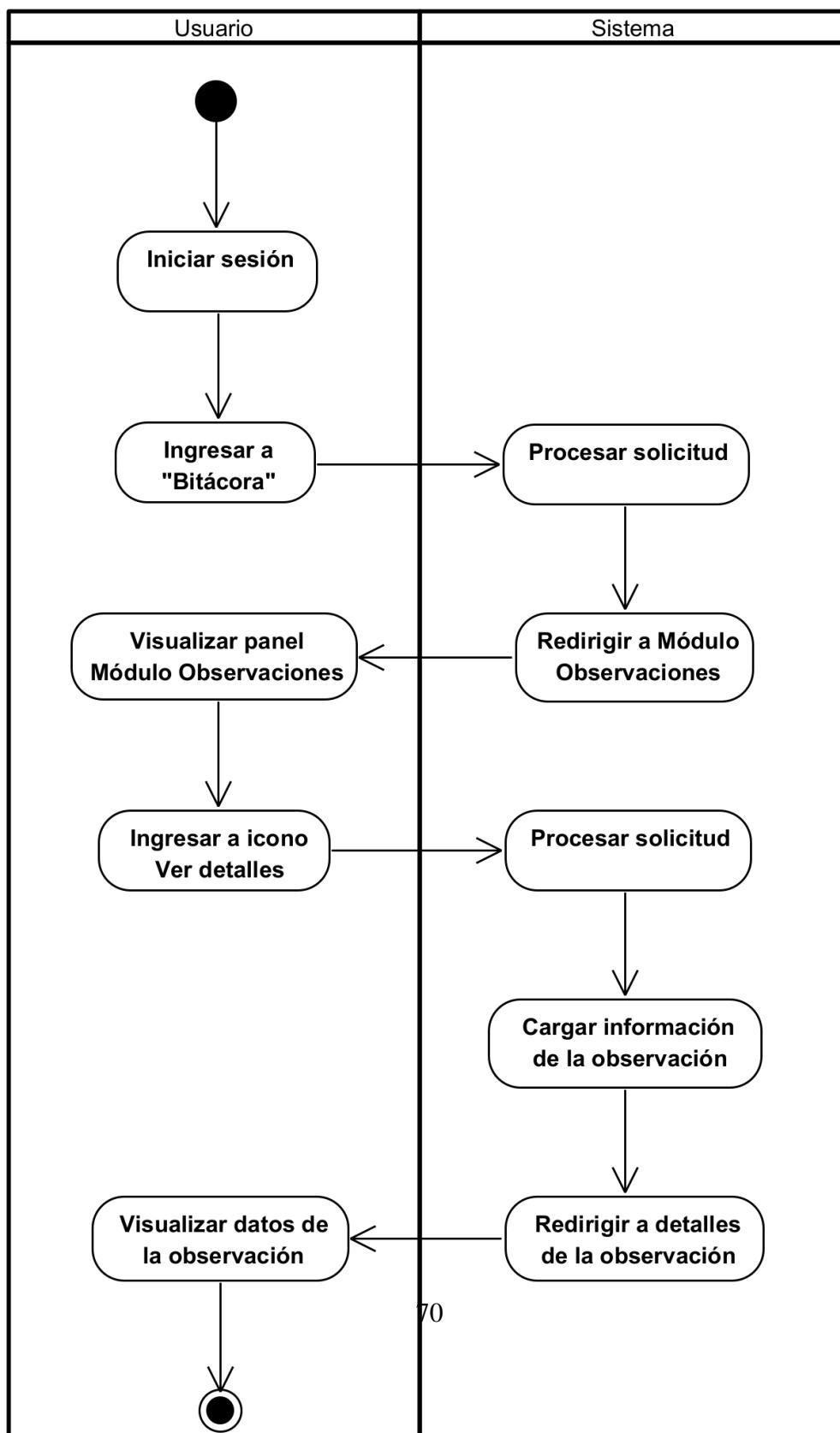
**Figura 67**

Diagrama de Actividad para Crear Observación (RF9.1).



**Figura 68**

Diagrama de Actividad para Consultar Observación (RF9.2).



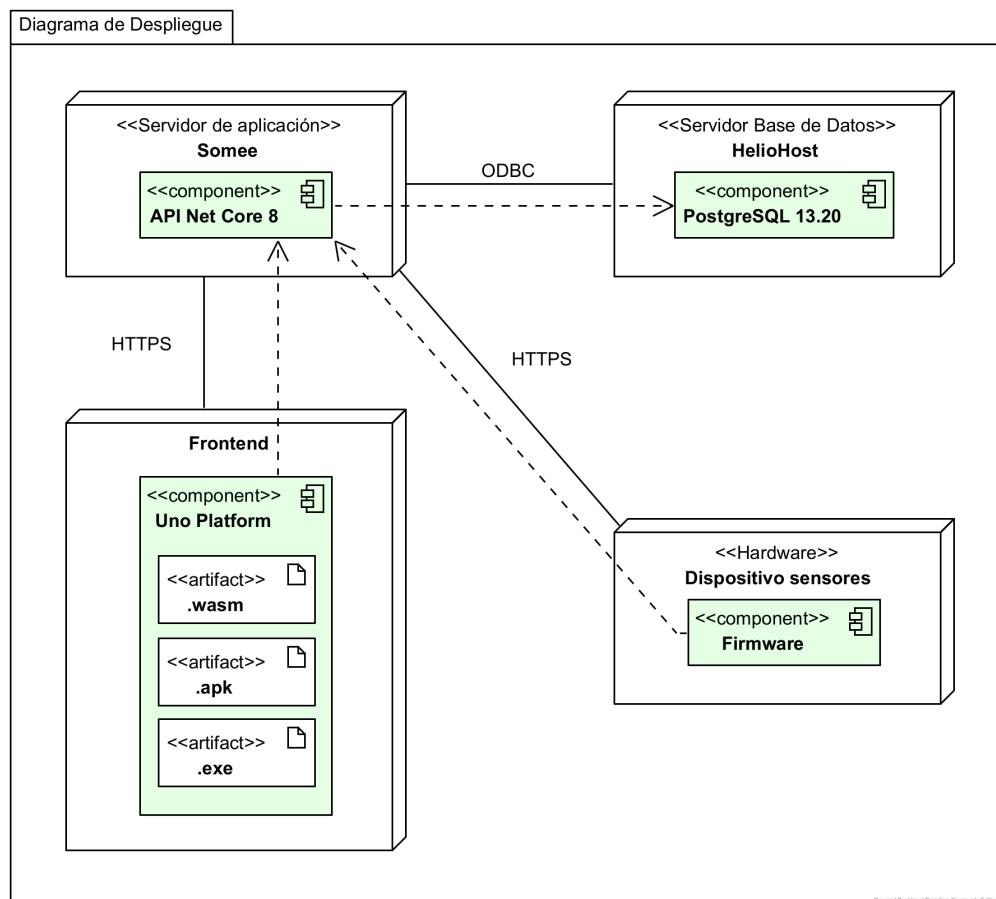
## 2.4.5. Diagrama de Clases

Incluir el diagrama con descripciones por cada clase.

## 2.4.6. Diagrama de Despliegue

**Figura 69**

*Diagrama de Despliegue del Sistema.*



## 2.5. Diseño de los Casos de Prueba

Texto sobre el diseño de casos de prueba utilizando SonarQube.

## **2.6. Estimación de Recursos**

Texto sobre la estimación de recursos utilizando el método de puntos de función o puntos de casos de uso.

## **2.7. Resultados de la Implementación del Software**

Texto sobre el resultado de implementar el software.

## **2.8. Conclusiones y Recomendaciones del software**

Discusión, conclusiones y recomendaciones sobre el software y su integración.

# **III. DOCUMENTACIÓN DEL HARDWARE**

## **RE**

### **3.1. Introducción**

En este capítulo se presenta la importancia del hardware en el sistema de detección temprana de *Botrytis cinerea*, justificando la selección de cada componente y su contribución al funcionamiento global del sistema.

### **3.2. Objetivos**

- Describir los componentes seleccionados para el sistema de detección.
- Detallar la metodología utilizada para la caracterización y validación de cada componente.
- Presentar los resultados obtenidos en la integración del hardware y su rendimiento en condiciones experimentales.

### **3.3. Descripción de Componentes**

#### **3.3.1. Microcontrolador ESP32-S3-WROOM-1 N16R8**

Descripción del microcontrolador y sus características principales.

#### **3.3.2. Cámara termográfica MLX90640**

Descripción del sensor de termografía, sus especificaciones y función en la detección.

#### **3.3.3. Sensor de luz BH1750**

Detalle del sensor de luminosidad y su relevancia en el monitoreo ambiental.

#### **3.3.4. Sensor de humedad y temperatura DHT22**

Explicación del sensor de temperatura y humedad, resaltando su precisión y rango de medición.

#### **3.3.5. Cámara RGB OV2640**

Breve descripción de la cámara adicional y sus aplicaciones en el proyecto.

#### **3.3.6. Regulador de voltaje LM2596**

Descripción del regulador de voltaje y su importancia para garantizar la estabilidad del sistema.

## **3.4. Metodología de Caracterización**

Esta sección describe el proceso sistemático para evaluar y validar el desempeño de cada componente y su integración en el sistema final.

### **3.4.1. Evaluación y verificación de componentes**

- **Definición de Parámetros de Evaluación:** Establecer los parámetros (por ejemplo, precisión, tiempo de respuesta y estabilidad) a medir para cada sensor y módulo.
- **Diseño de Protocolos de Prueba:** Elaborar procedimientos detallados para realizar pruebas de calibración y verificación en condiciones controladas.
- **Implementación de Ensayos Experimentales:** Ejecutar las pruebas en laboratorio, documentando condiciones ambientales, configuraciones y resultados obtenidos.
- **Análisis de Resultados:** Comparar los datos obtenidos con las especificaciones del fabricante y los requerimientos del proyecto.

### **3.4.2. Configuración e Integración del Firmware**

- **Diseño del Esquema de Integración:** Elaborar diagramas que muestren la conexión física entre el ESP32 y cada componente, indicando rutas de comunicación (I2C, SPI, etc.).
- **Configuración en Platform.io IDE:** Documentar el proceso de configuración, instalación de librerías, asignación de pines y gestión de interrupciones o tiempos de muestreo.
- **Pruebas de Integración:** Realizar pruebas para verificar la comunicación y correcta transmisión de datos entre el hardware y el firmware.

- **Documentación de la Integración:** Registrar todos los pasos y resultados obtenidos para facilitar futuras revisiones o ajustes.

### **3.4.3. Validación y Análisis de Resultados**

En esta sección se evalúa el rendimiento global del sistema integrado mediante la comparación de datos experimentales controlados con los objetivos del proyecto. Se presentan datos, gráficos y análisis que demuestran el desempeño de cada componente y del sistema en conjunto, contrastándolos con los parámetros de referencia y registrando hallazgos para futuras revisiones.

## **3.5. Implementación del Sistema Integrado**

Se describe la implementación práctica, incluyendo la integración final del hardware con el firmware, la calibración de sensores y la ejecución de pruebas en condiciones reales para ajustar y optimizar el sistema.

## **3.6. Resultados**

Interpretación de los resultados finales obtenidos, identificando fortalezas y áreas de mejora, y estableciendo la relación entre el rendimiento del hardware y los objetivos del proyecto.

## **IV. ESTUDIO EXPERIMENTAL**

### **4.1. Introducción**

Se presenta el contexto del cultivo de arándano biloxi y la relevancia de detectar tempranamente *Botrytis cinerea*. Se definen los objetivos específicos del estudio experimental.

### **4.2. Objetivos**

- Obtener el patógeno *Botrytis cinerea* en condiciones controladas.
- Infectar y registrar plantas de arándano biloxi con el hongo mediante datos cuantitativos y cualitativos.
- Evaluar la efectividad de la detección temprana mediante termografía con los datos parciales.
- Comparar los resultados entre plantas infectadas y de control.

### **4.3. Preparación del Hongo *Botrytis cinerea***

Descripción del protocolo para el manejo, cultivo y preparación del hongo, detallando medidas de seguridad y procedimientos para garantizar la viabilidad del patógeno.

## **4.4. Diseño Experimental**

- **Procedimiento de Infección:** Descripción de cómo se realizará la inoculación en las plantas.
- **Planificación de la Toma de Datos:** Definición del cronograma, frecuencia y condiciones bajo las cuales se efectuarán las mediciones.
- **Técnicas Utilizadas:** Detalle de las metodologías (incluyendo termografía) y herramientas empleadas para la captura de datos.

## **4.5. Recolección y Análisis de Datos**

Metodología para la recopilación de datos experimentales, métodos estadísticos aplicados para el análisis comparativo entre plantas infectadas y de control, y presentación de resultados preliminares.

## **4.6. Resultados**

Presentación detallada de los hallazgos experimentales, análisis crítico de los resultados y comparación con los objetivos planteados en el estudio. Se discutirán las implicaciones de la detección temprana y su potencial para mejorar el manejo del cultivo.

# V. INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA DETECCIÓN TEMPRANA

## 5.1. Introducción

La inteligencia artificial (IA) ha mostrado un gran potencial en el análisis y procesamiento de grandes volúmenes de datos, lo que la convierte en una herramienta clave para la mejora de sistemas de detección temprana en la agricultura. En este capítulo se describirá el uso de IA para procesar los datos termográficos obtenidos del sensor *MLX90640* en el cultivo de arándanos Biloxi, con el objetivo de detectar de manera precisa y temprana la presencia de *Botrytis cinerea*.

## 5.2. Objetivos

- Implementar un modelo de IA para analizar los datos termográficos obtenidos de las plantas de arándano.
- Desarrollar un sistema de clasificación para detectar zonas afectadas por *Botrytis cinerea* basado en patrones térmicos.
- Comparar los resultados de la IA con métodos tradicionales de diagnóstico para evaluar la

precisión de la detección.

- Optimizar el rendimiento del sistema a través de ajustes en el modelo de IA y su integración con el hardware de bajo costo.

### 5.3. Preprocesamiento de Datos

Los datos obtenidos por el sensor *MLX90640* consisten en una matriz de 32x24 píxeles, donde cada píxel contiene un valor de temperatura en grados Celsius. Antes de alimentar estos datos a un modelo de IA, se realiza un preprocesamiento que incluye:

- Normalización de los datos termográficos para asegurar que los valores de temperatura estén dentro de un rango adecuado para el análisis.
- Conversión de los datos en matrices de características, ya sea como imágenes o arrays numéricos, según el modelo elegido.
- Eliminación de valores atípicos o ruido térmico que pueda interferir con la precisión del análisis.

### 5.4. Modelos de Inteligencia Artificial Utilizados

Se evaluaron dos enfoques principales para entrenar la IA:

- **Entrenamiento con datos numéricos:** Utilizando redes neuronales simples (MLP) y máquinas de soporte vectorial (SVM) para clasificar las plantas según sus condiciones de salud.
- **Entrenamiento con imágenes:** Utilizando redes neuronales convolucionales (CNN) para identificar patrones térmicos en las imágenes generadas a partir de los datos termográficos.

## **5.5. Evaluación de Modelos**

Los modelos entrenados fueron evaluados mediante varias métricas, tales como:

- Precisión: Proporción de clasificaciones correctas en relación con el total de predicciones.
- Sensibilidad: Capacidad del modelo para identificar correctamente las plantas infectadas.
- Especificidad: Capacidad del modelo para identificar correctamente las plantas sanas.

El modelo con mejor rendimiento se implementó en el sistema de detección temprana.

## **5.6. Resultados**

La integración de la inteligencia artificial en el sistema de detección temprana ha demostrado ser una herramienta valiosa para mejorar la precisión de la identificación de *Botrytis cinerea* en los cultivos de arándano Biloxi. Este sistema permitirá a los agricultores actuar de manera más eficiente para prevenir la propagación de la enfermedad y minimizar las pérdidas económicas.

# **VI. RESULTADOS Y CONCLUSIONES FINALES**

## **6.1. Pregunta de investigación**

Integración de los resultados obtenidos en la caracterización del hardware, la documentación del software y el estudio experimental, resaltando los aspectos más relevantes y la coherencia entre las diferentes etapas del proyecto.

## **6.2. Discusión General**

Análisis crítico de la consecución de los objetivos planteados, discusión de las fortalezas y limitaciones del sistema propuesto, y evaluación del impacto potencial de la implementación en un entorno real.

## **6.3. Recomendaciones**

- Sugerencias para la mejora del sistema basado en los resultados obtenidos.
- Propuestas para futuras investigaciones que puedan ampliar o profundizar el trabajo realizado.

- Consideraciones sobre la escalabilidad y adaptabilidad del sistema a otros contextos o cultivos.

## **6.4. Conclusiones Finales**

- Resumen de los logros y aportes del proyecto.
- Reflexión sobre los retos encontrados y las soluciones implementadas.
- Recomendaciones para futuras investigaciones y mejoras en el sistema.

# **Anexos**

## **Anexo A. Código Fuente del Módulo Principal**

Incluir el manual de usuario...

## **Anexo B. Manual de Usuario por Roles**

Incluir el manual de usuario...

## **Anexo C. Manual de Instalación**

Incluir manual de instalación...

## **Anexo D. Artículos de Resultados de Investigación**

Incluir artículos correspondientes...

## **Anexo E. Certificaciones de Ponencias y Controles de Seguimiento**



Universidad de  
**CUNDINAMARCA**



Dirección Interacción  
Social Universitaria



En el marco del Artículo 170 de la Ley 30 de 1992

**Certifica a**

**GABRIEL ESTEBAN MARTINEZ ROLDAN**

CÉDULA DE CIUDADANÍA N°. 1003689991

Participó como PONENTE en el

## **VI Encuentro de semilleros de investigación: Creatividad e innovación de los semilleros de investigación, más allá de lo tradicional**

En el módulo **APROXIMACION A LA DETECCION TEMPRANA DE BOTRYTIS CINerea EN ARANDANO BILOXI MEDIANTE TERMOGRAFIA** organizado por la Dirección de investigación de la Sede Fusagasugá, la Dirección de Interacción Social Universitaria y la Vicerrectoría Académica, con una intensidad de 12 horas, realizado durante el segundo periodo académico de 2024.

La presente certificación se expide a solicitud del(la) interesado(a) a los veintiuno (21) días del mes de noviembre de 2024.

Ena Patricia Gil Bellido  
Directora Interacción Social Universitaria



Universidad de  
**CUNDINAMARCA**



Dirección Interacción  
Social Universitaria



En el marco del Artículo 170 de la Ley 30 de 1992

**Certifica a**

**JUAN ESTEBAN FUENTES ROJAS**

CÉDULA DE CIUDADANÍA N°. 1000595971

Participó como PONENTE en el

## **VI Encuentro de semilleros de investigación: Creatividad e innovación de los semilleros de investigación, más allá de lo tradicional**

En el módulo **APROXIMACION A LA DETECCION TEMPRANA DE BOTRYTIS CINerea EN ARANDANO BILOXI MEDIANTE TERMOGRAFIA** organizado por la Dirección de investigación de la Sede Fusagasugá, la Dirección de Interacción Social Universitaria y la Vicerrectoría Académica, con una intensidad de 12 horas, realizado durante el segundo periodo académico de 2024.

La presente certificación se expide a solicitud del(la) interesado(a) a los veintiuno (21) días del mes de noviembre de 2024.

Ena Patricia Gil Bellido  
Directora Interacción Social Universitaria