

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

Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Resumen	IV
Abstract	V
Lista de Tablas	IX
Lista de Figuras	XII
Lista de Anexos	XIII
Introducción	XIV
1 INFORME DE INVESTIGACIÓN	1
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
2 DOCUMENTACIÓN DEL SOFTWARE	7
2.1 Plan de Proyecto	7
2.2 Determinación de Requerimientos	7
2.3 Especificación del Diseño	8

2.3.1	Modelo de Entidad-Relación (MER)	8
2.3.2	Diagramas de Casos de Uso	9
2.3.3	Diagramas de Secuencia	14
2.3.4	Diagramas de Actividades	41
2.3.5	Diagrama de Clases	70
2.3.6	Diagrama de Despliegue	70
2.4	Arquitectura del Software	71
2.4.1	Desarrollo del Frontend	71
2.4.2	Desarrollo del Backend	71
2.4.3	Integración Frontend-Backend	71
2.5	Diseño de los Casos de Prueba	71
2.6	Estimación de Recursos	71
2.7	Resultados de la Implementación del Software	72
2.8	Conclusiones y Recomendaciones del software	72
3	DOCUMENTACIÓN DEL HARDWARE	73
3.1	Introducción y Justificación del Hardware	73
3.2	Descripción de Componentes	73
3.2.1	Microcontrolador ESP32-S3-WROOM-1 N16R8	73
3.2.2	Cámara termográfica MLX90640	73
3.2.3	Sensor de luz BH1750	74
3.2.4	Sensor de humedad y temperatura DHT22	74
3.2.5	Cámara RGB OV2640	74
3.2.6	Regulador de voltaje LM2596	74
3.3	Metodología de Caracterización	74
3.3.1	Evaluación y verificación de componentes	74
3.3.2	Configuración e Integración del Firmware	75
3.3.3	Validación y Análisis de Resultados	75
3.4	Implementación del Sistema Integrado	76
3.5	Discusión	76
4	ESTUDIO EXPERIMENTAL	77
4.1	Introducción y Objetivos del Estudio Experimental	77
4.2	Preparación del Hongo <i>Botrytis cinerea</i>	77
4.3	Diseño Experimental	77

4.4	Recolección y Análisis de Datos	78
4.5	Resultados y Discusión	78
5	RESULTADOS Y CONCLUSIONES FINALES	79
5.1	Síntesis de Resultados	79
5.2	Discusión General	79
5.3	Conclusiones Finales	79
	Bibliografía	81
	Anexos	81
A	Código Fuente del Módulo Principal	81
B	Manual de Usuario por Roles	81
C	Manual de Instalación	81
D	Artículos de Resultados de Investigación	81
E	Certificaciones de Ponencias y Controles de Seguimiento	82

Índice de cuadros

Índice de figuras

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

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

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

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. Determinación de Requerimientos

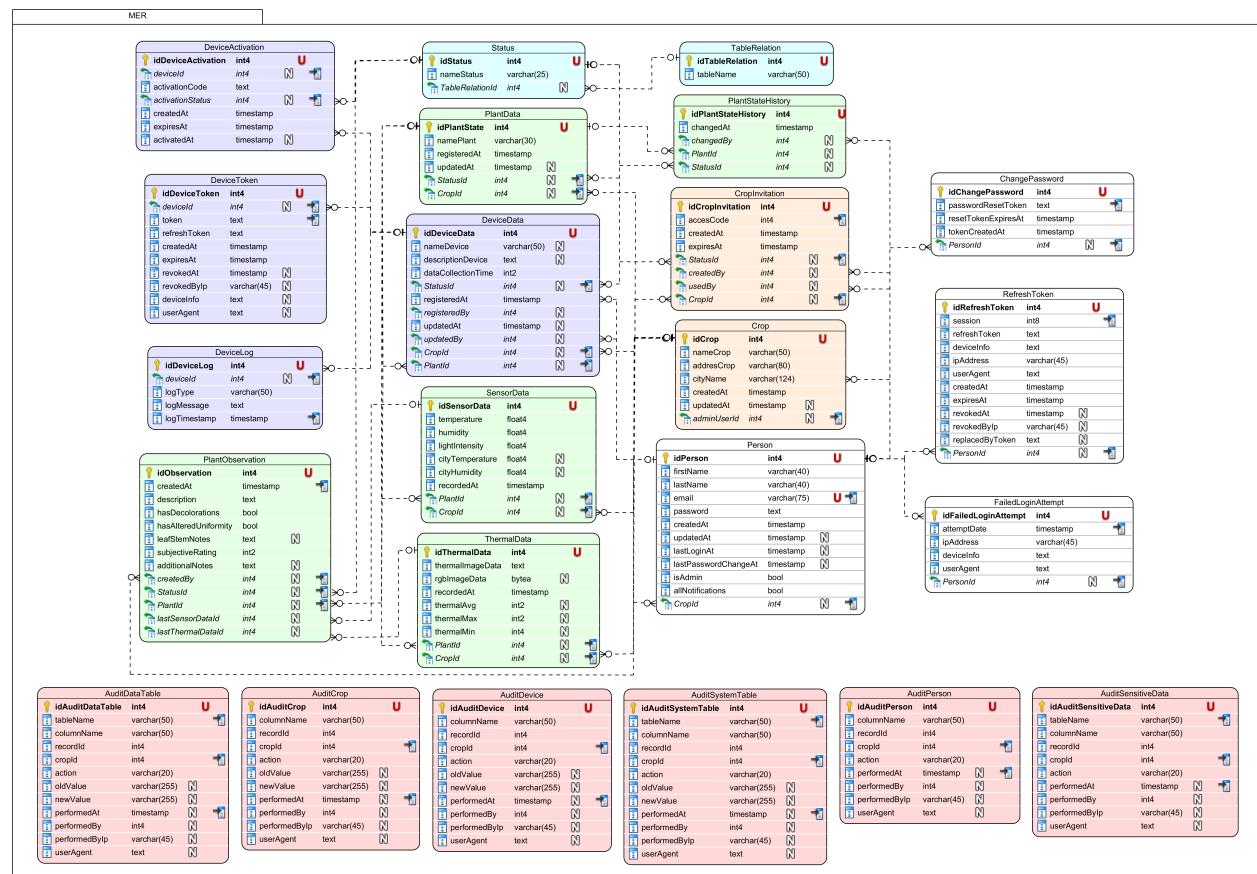
Texto sobre la determinación de requerimientos según formato IEEE...

2.3. Especificación del Diseño

2.3.1. Modelo de Entidad-Relación (MER)

Figura 1

Diagrama Entidad-Relación del Sistema.



2.3.2. Diagramas de Casos de Uso

Figura 2

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

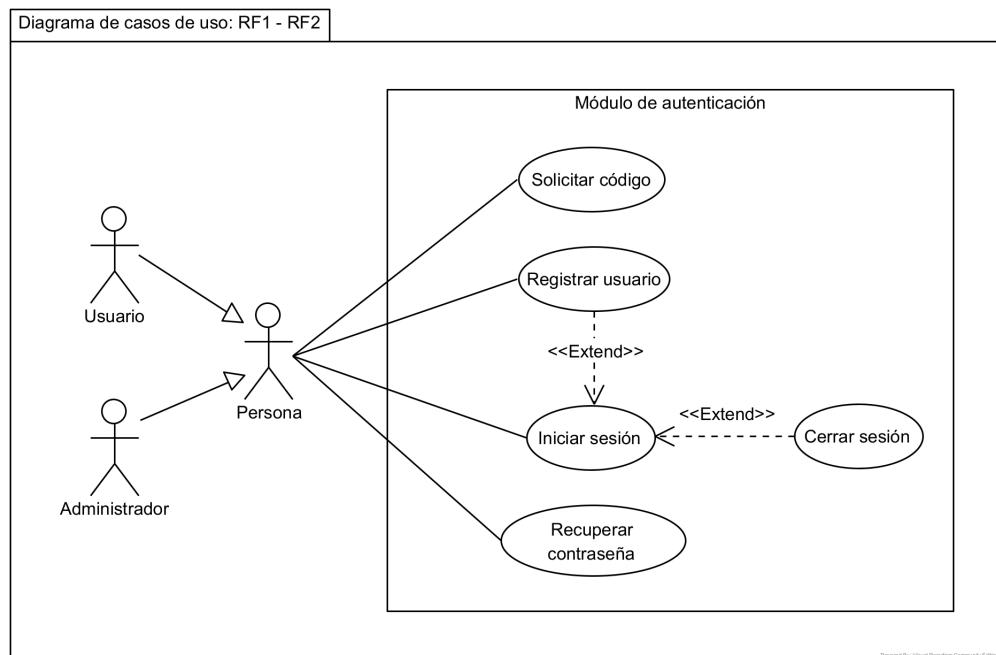


Figura 3

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

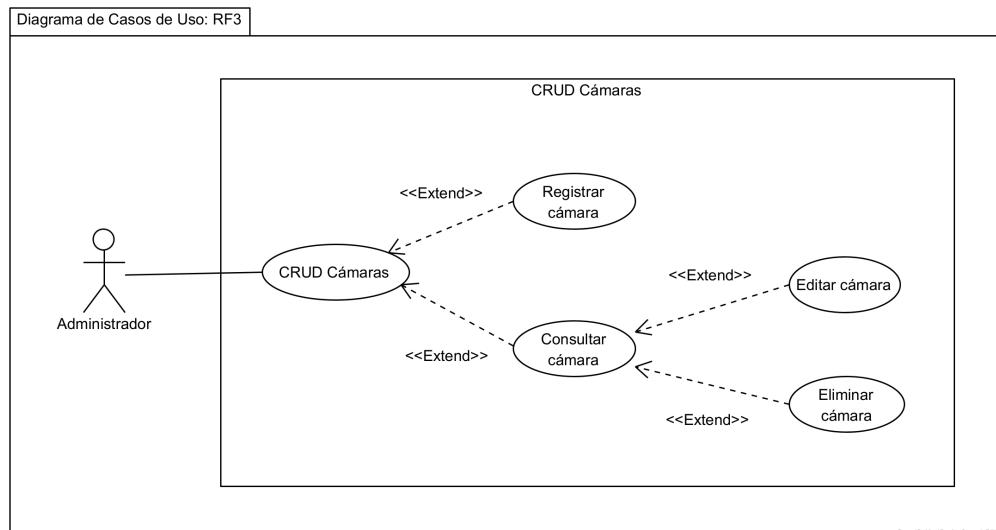


Figura 4

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

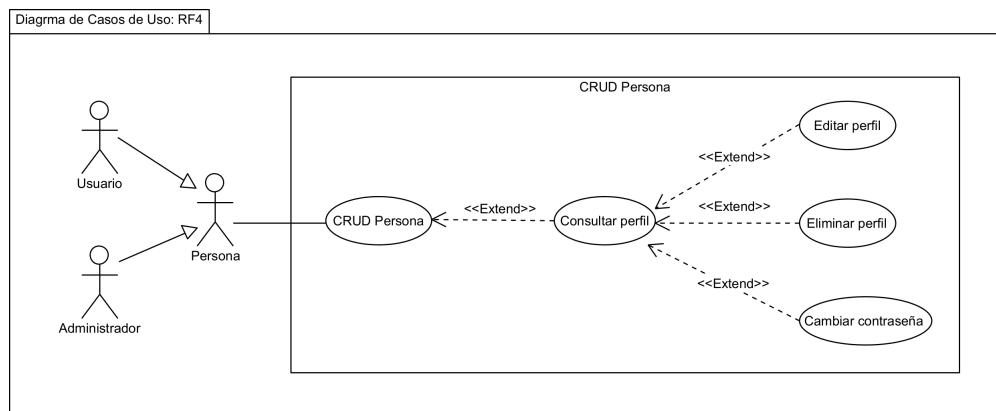


Figura 5

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

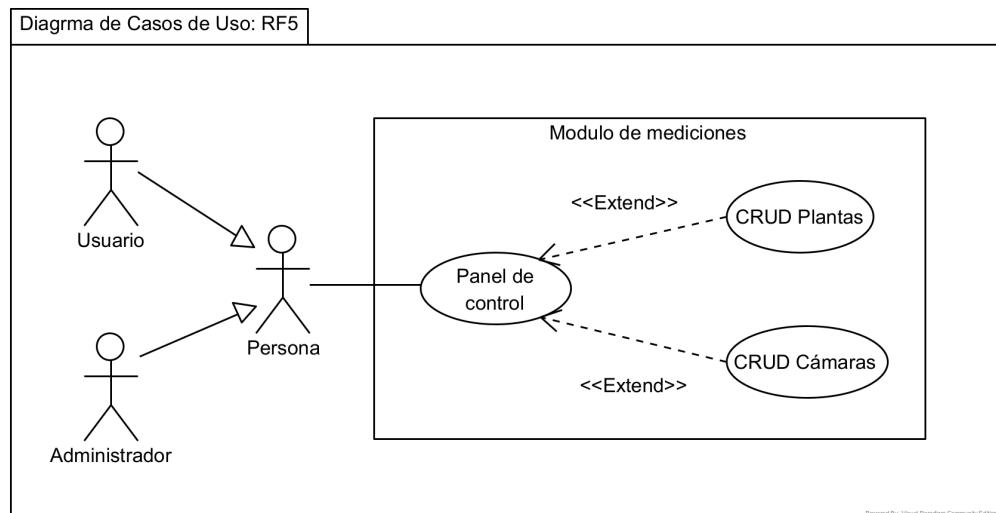


Figura 6

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

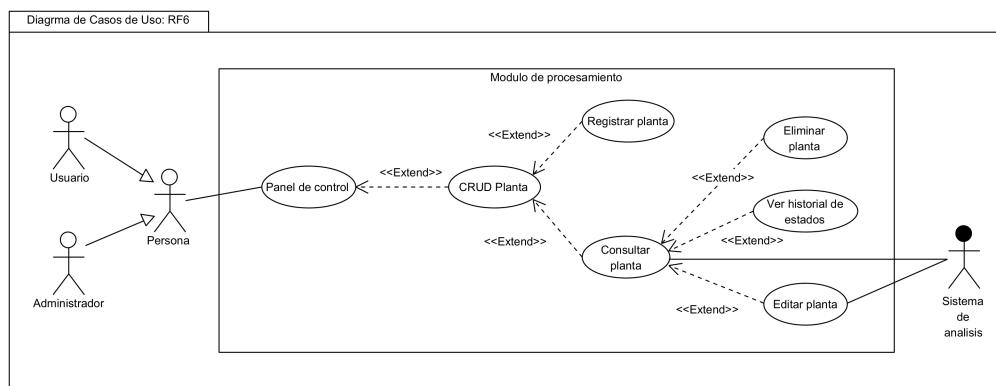


Figura 7

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

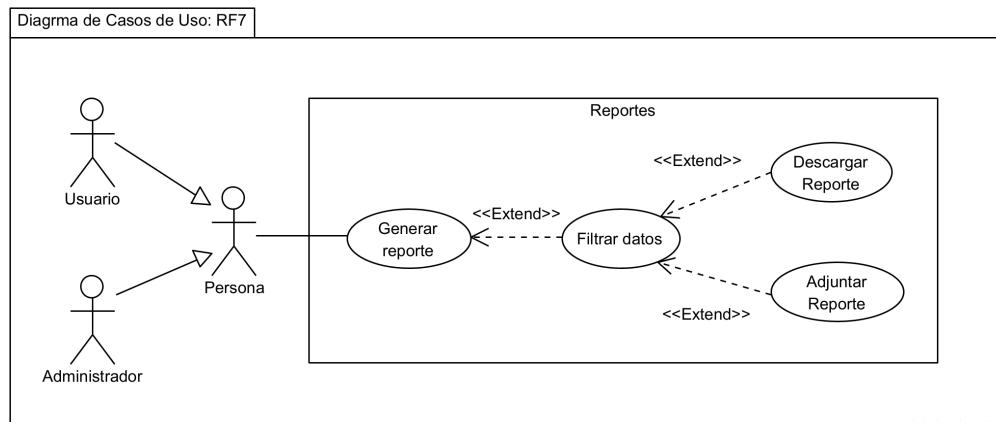


Figura 8

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

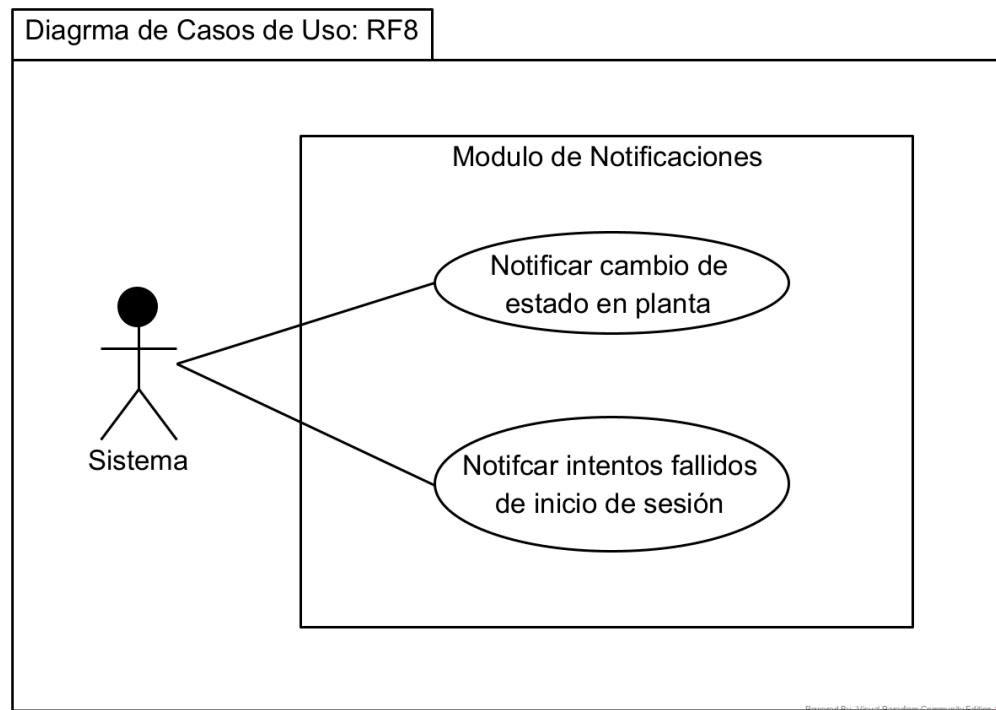
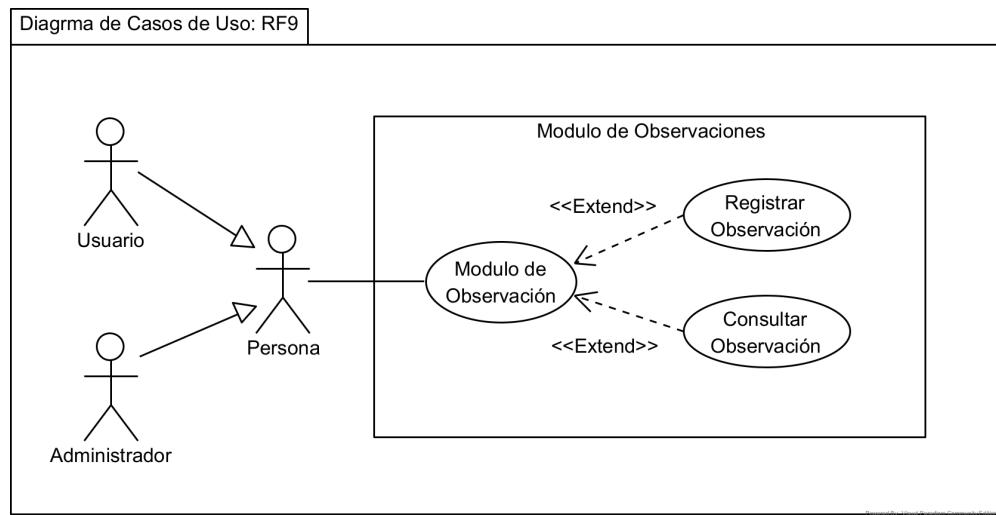


Figura 9

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



2.3.3. Diagramas de Secuencia

Figura 10

Diagrama de secuencia base: Envío de formulario.

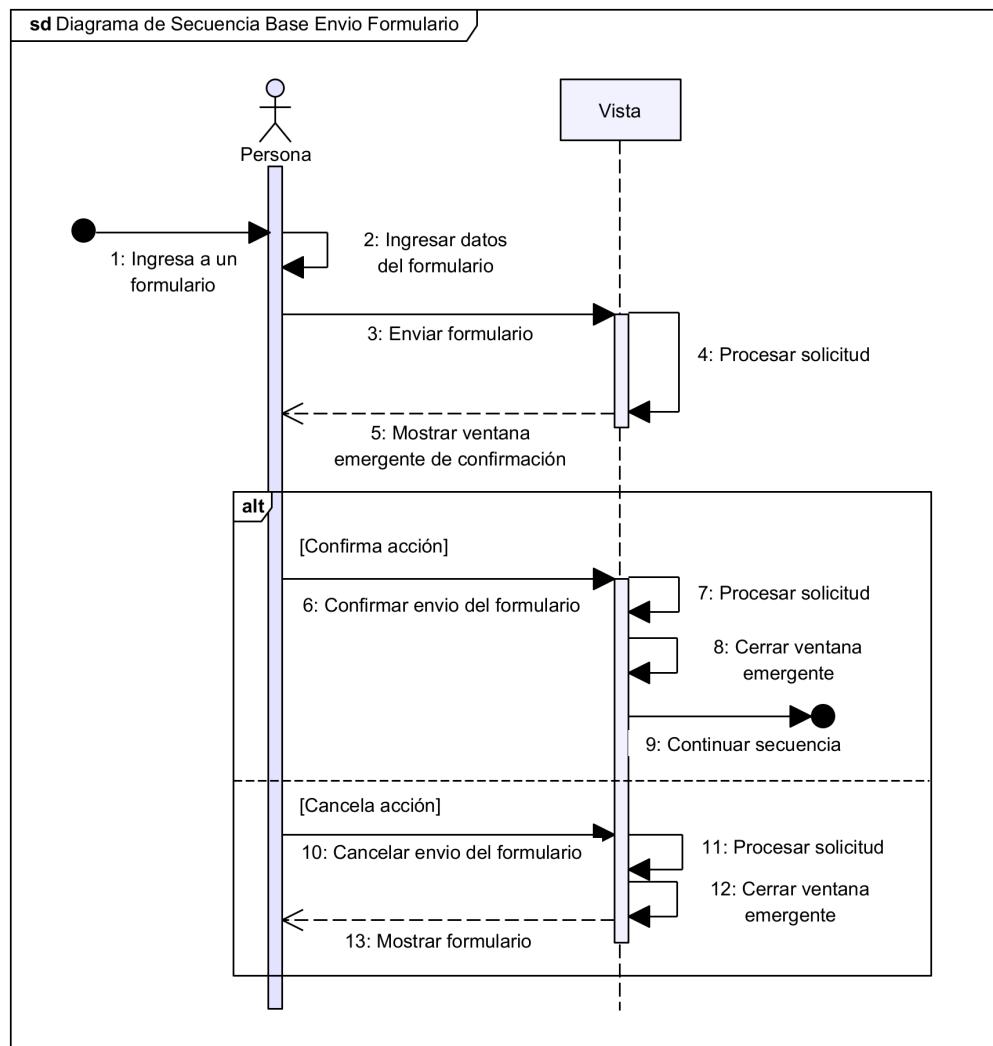


Figura 11

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

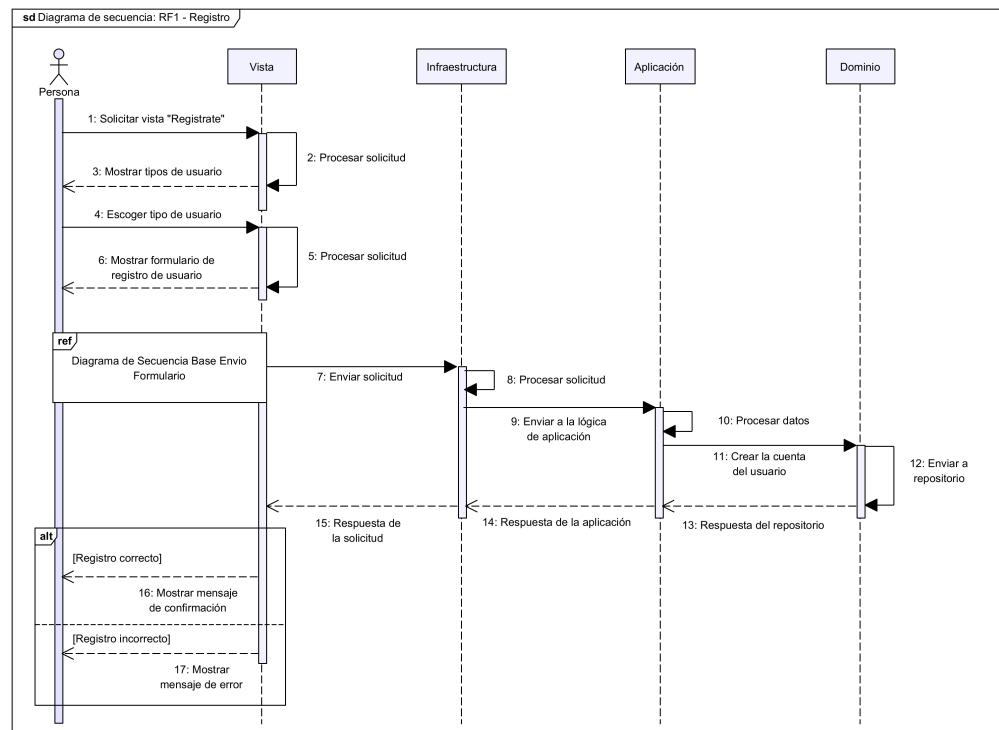


Figura 12

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

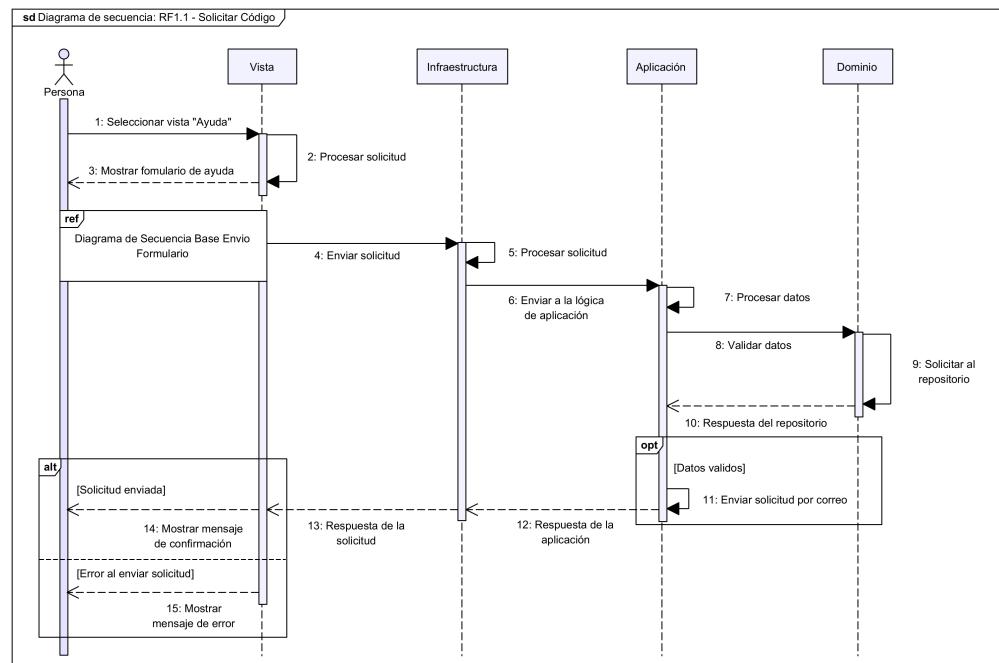


Figura 13

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

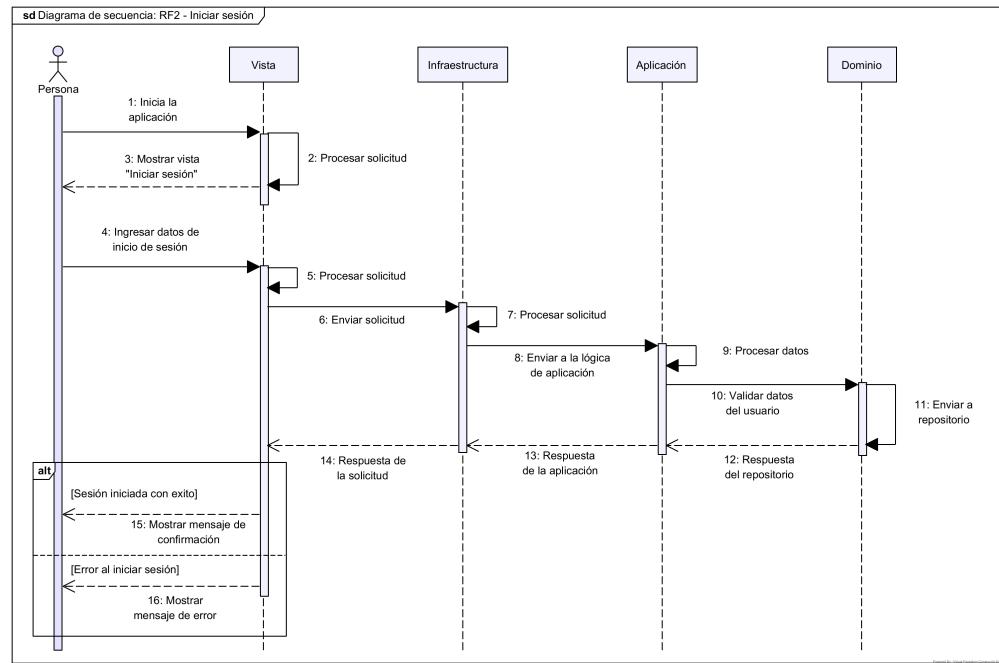


Figura 14

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

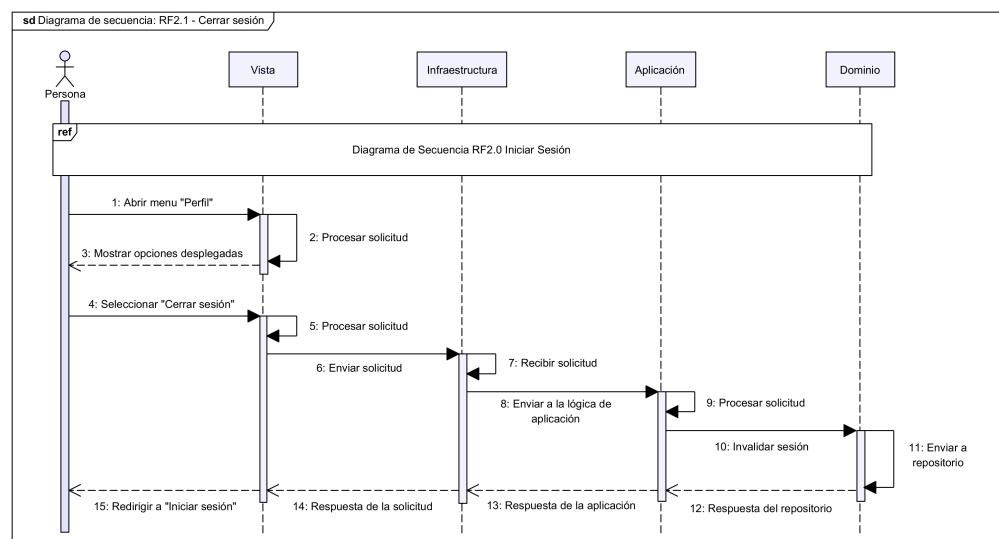


Figura 15

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

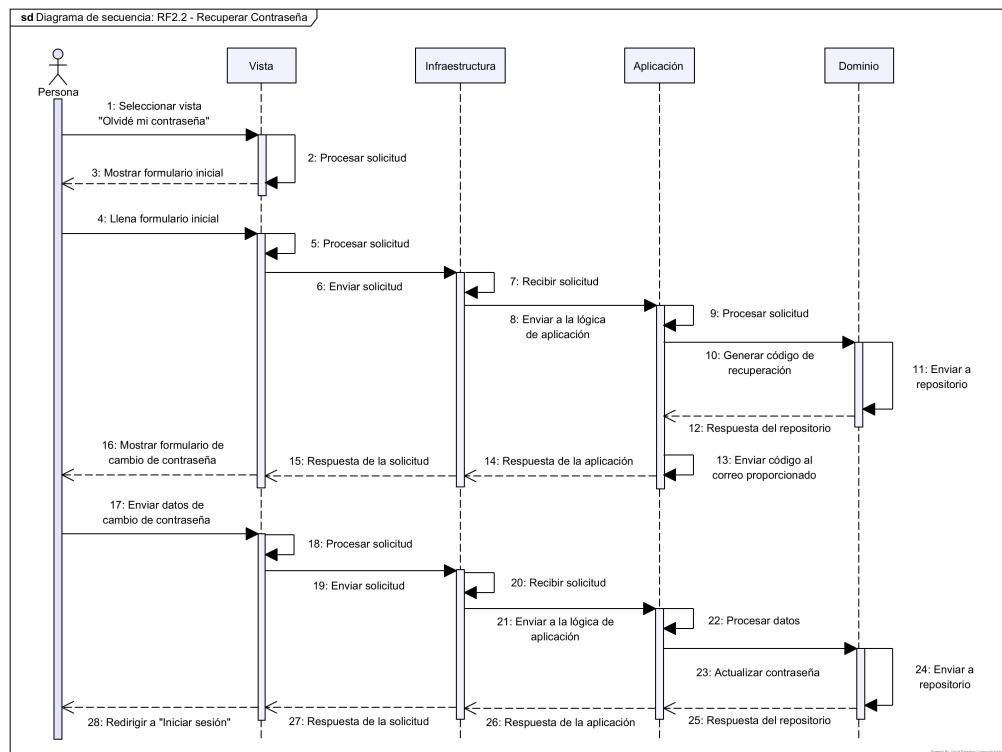


Figura 16

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

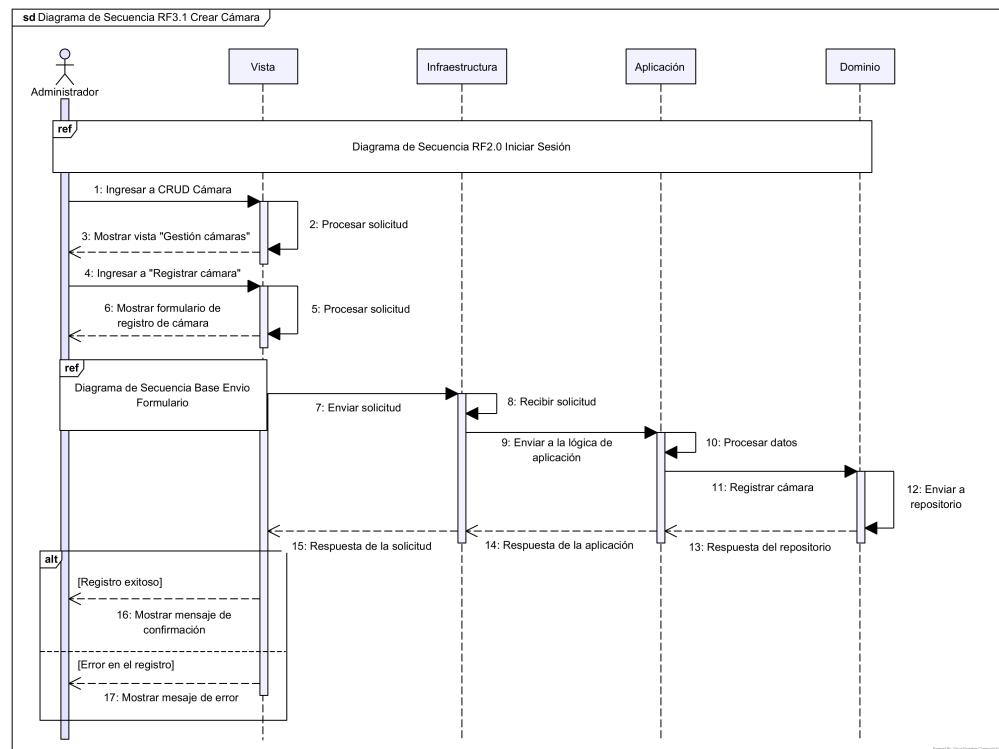


Figura 17

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

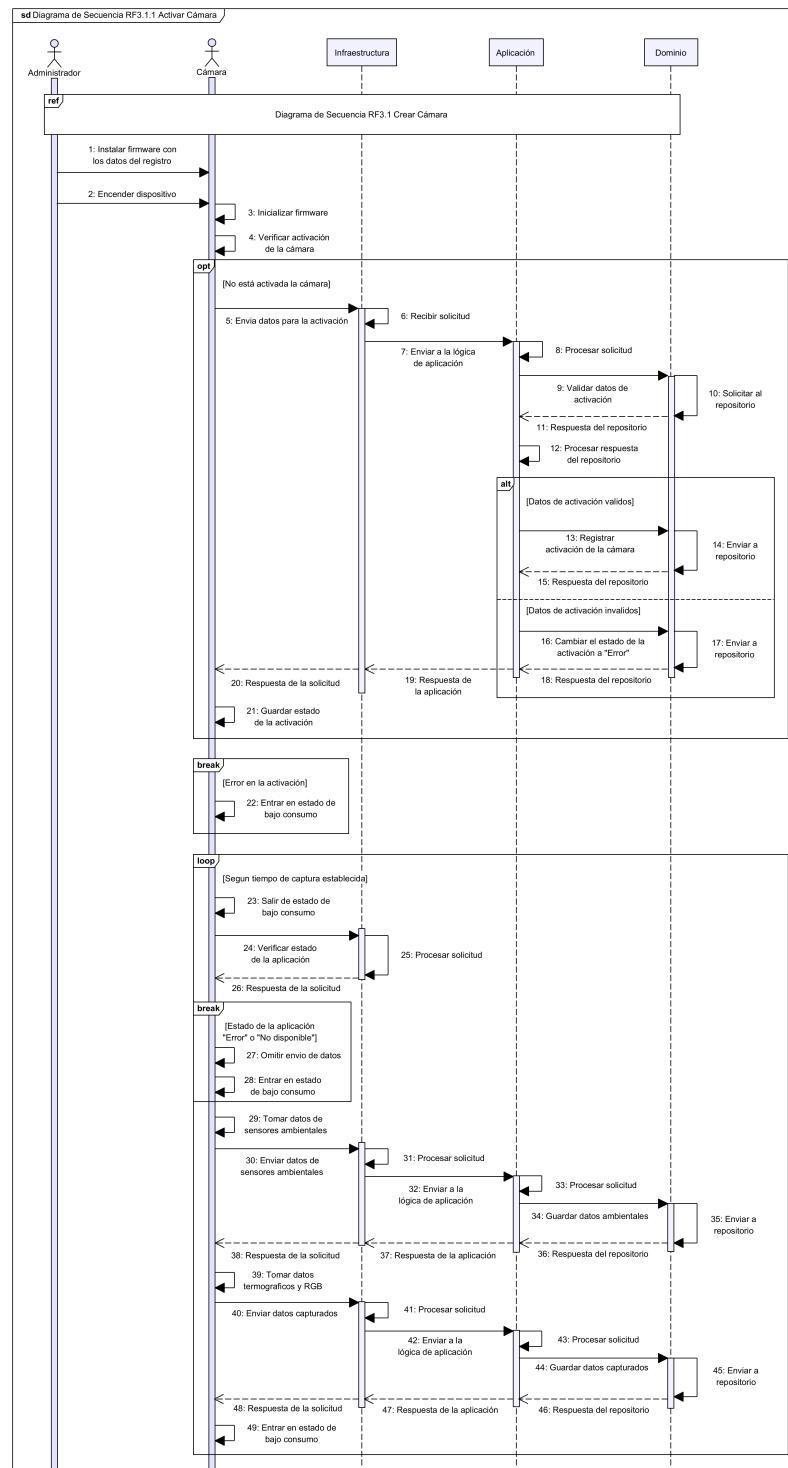


Figura 18

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

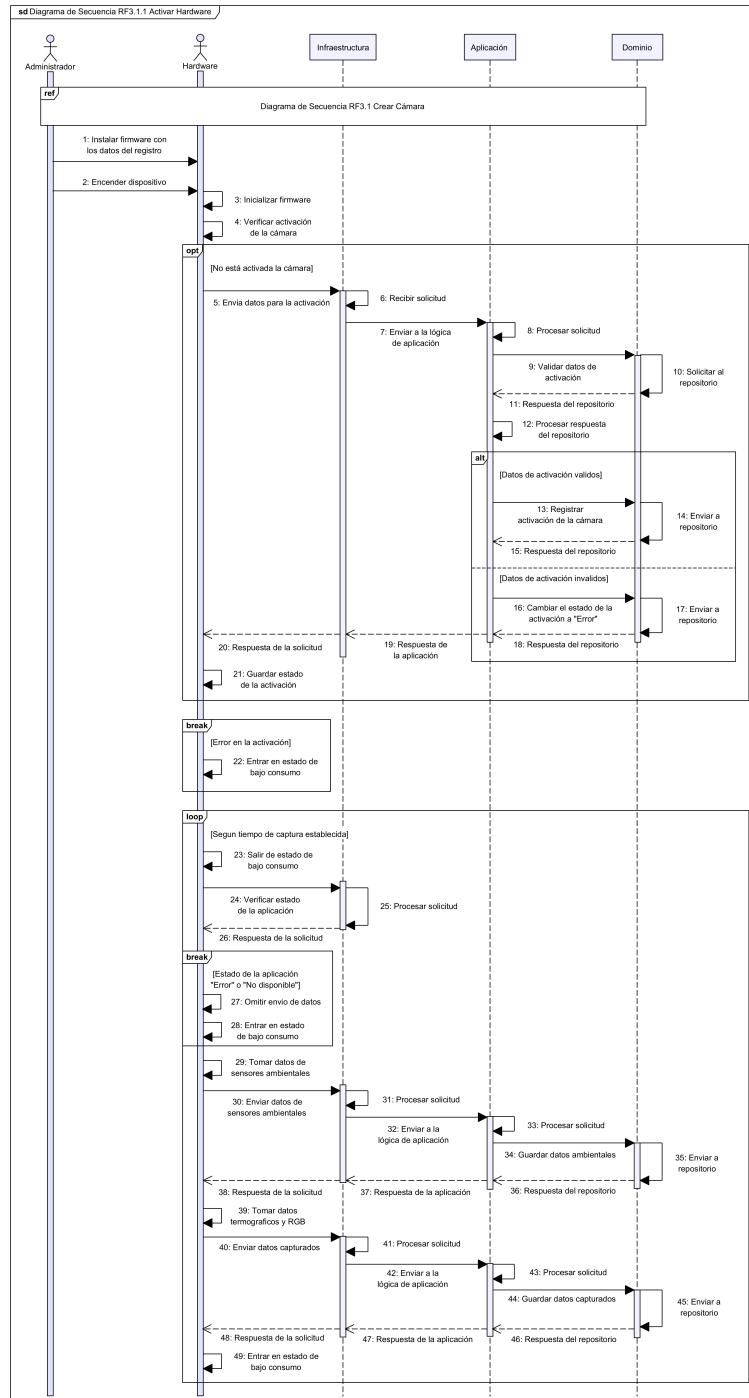


Figura 19

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

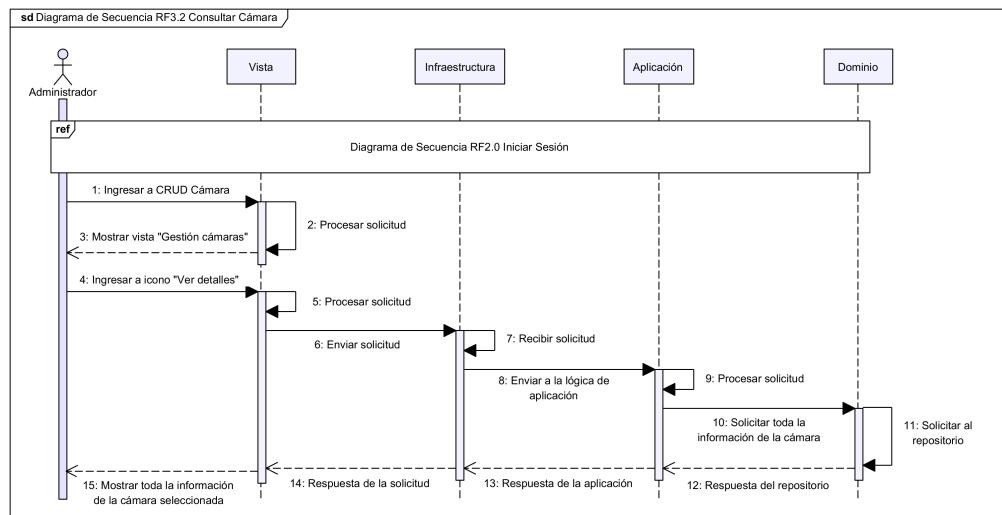


Figura 20

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

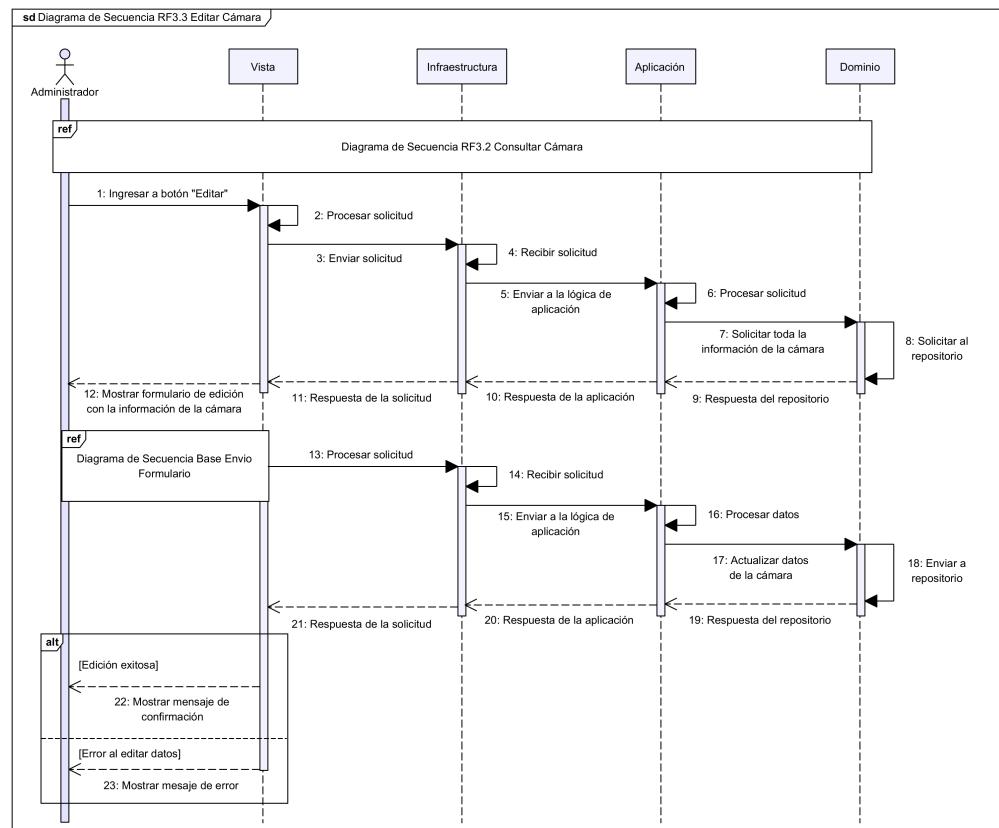


Figura 21

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

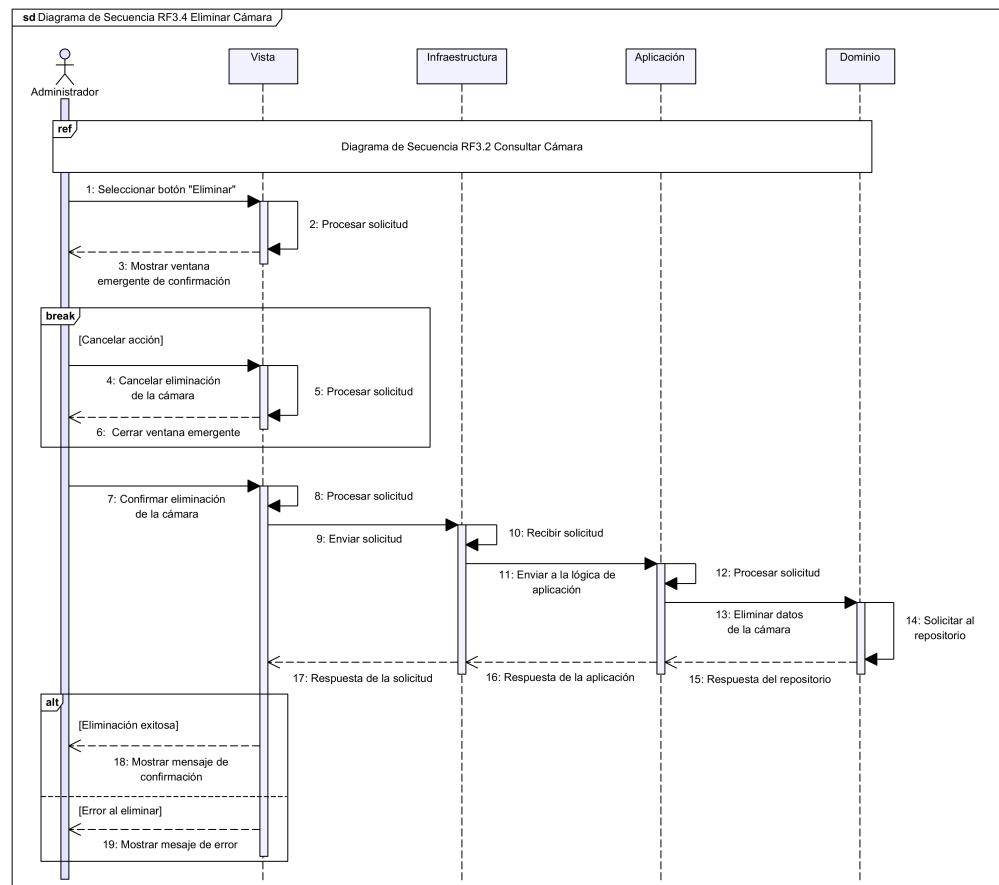


Figura 22

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

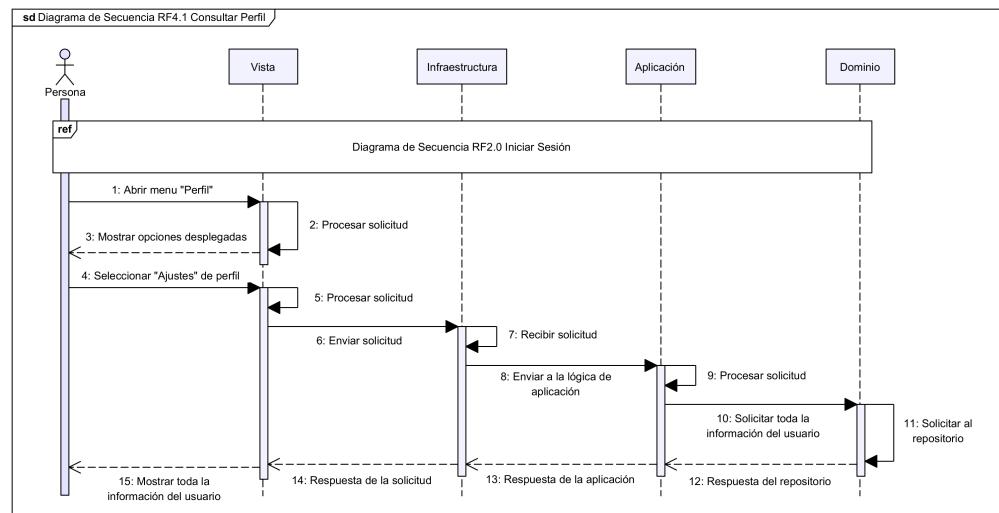


Figura 23

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

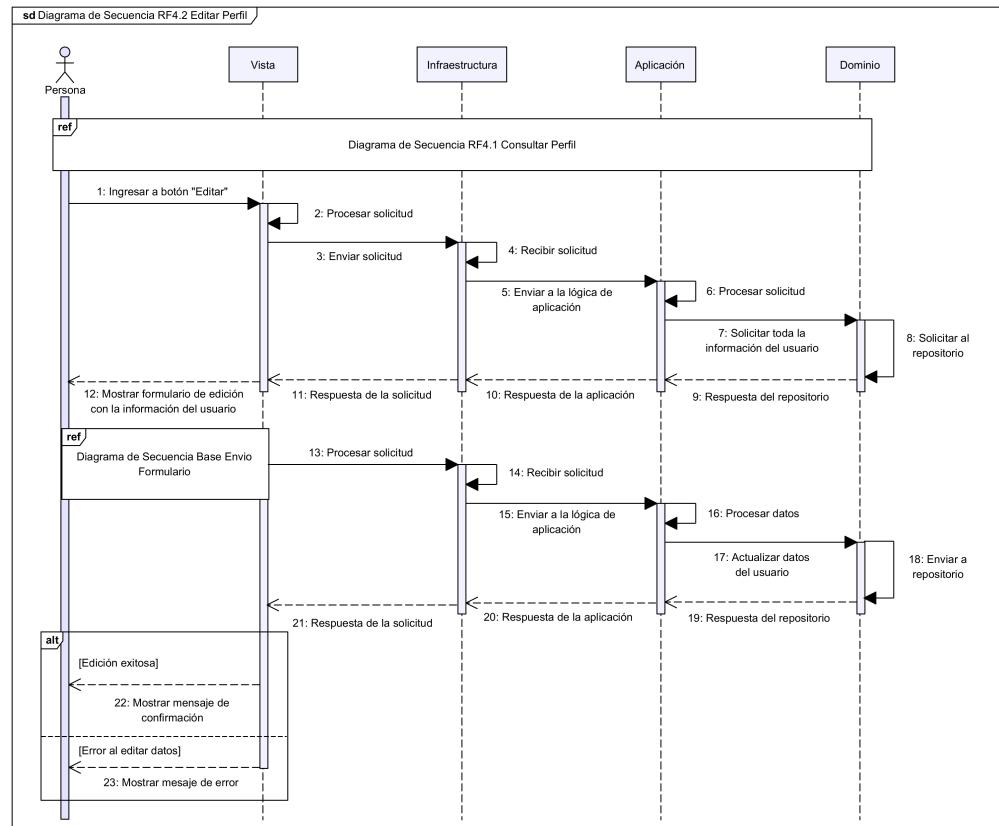


Figura 24

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

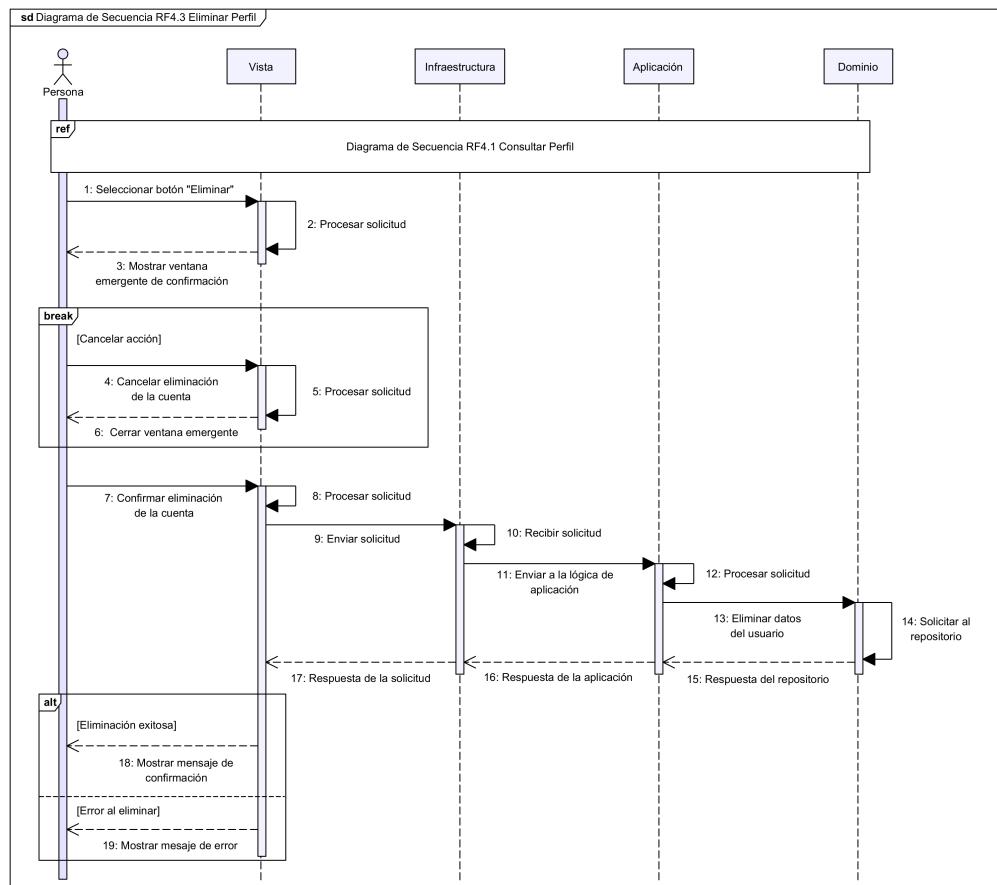


Figura 25

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

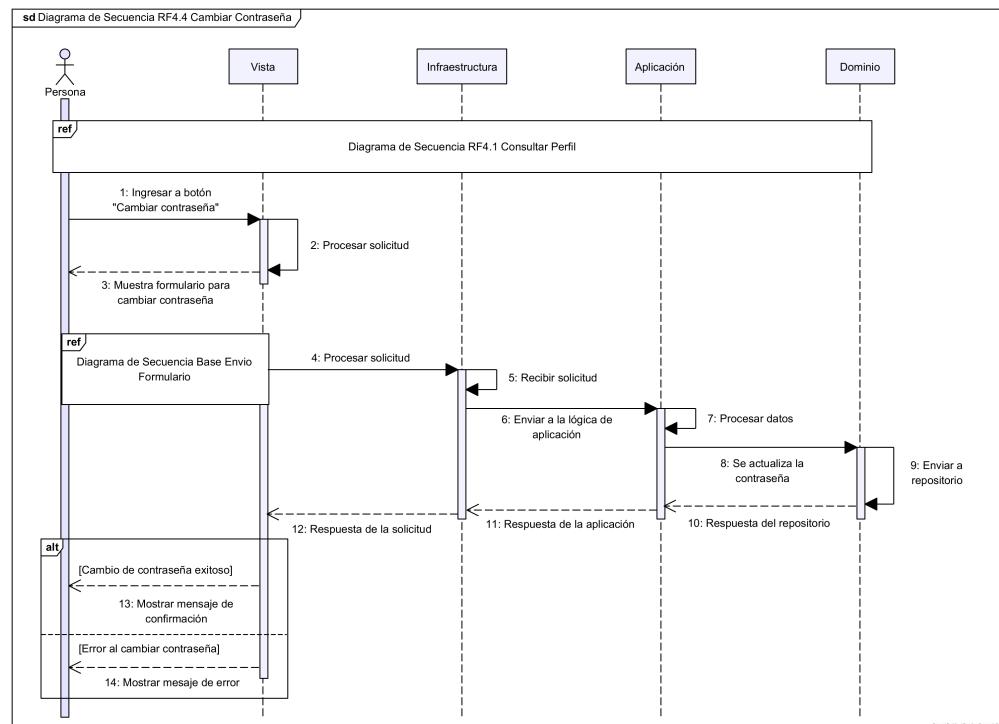


Figura 26

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

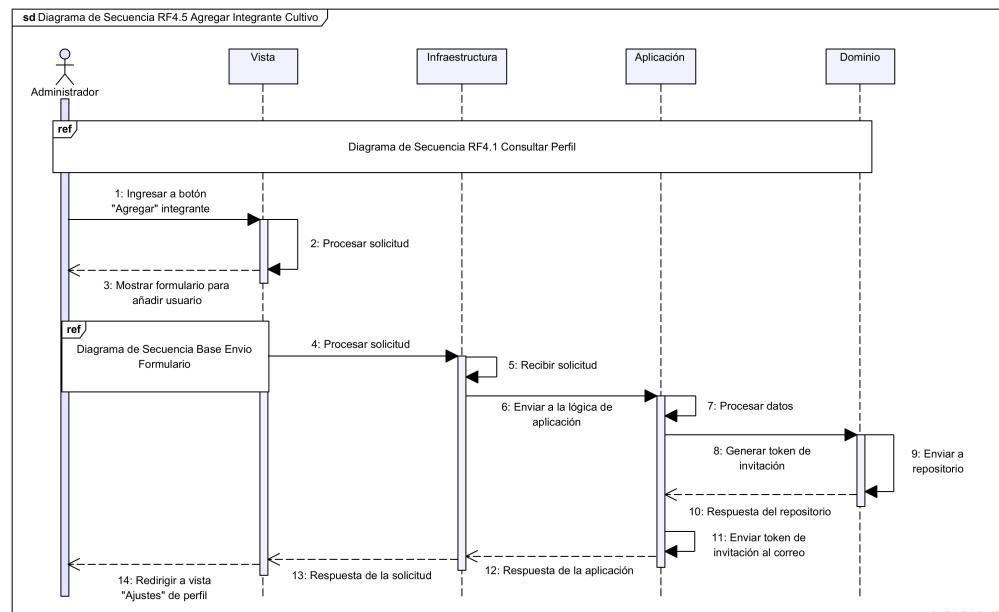


Figura 27

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

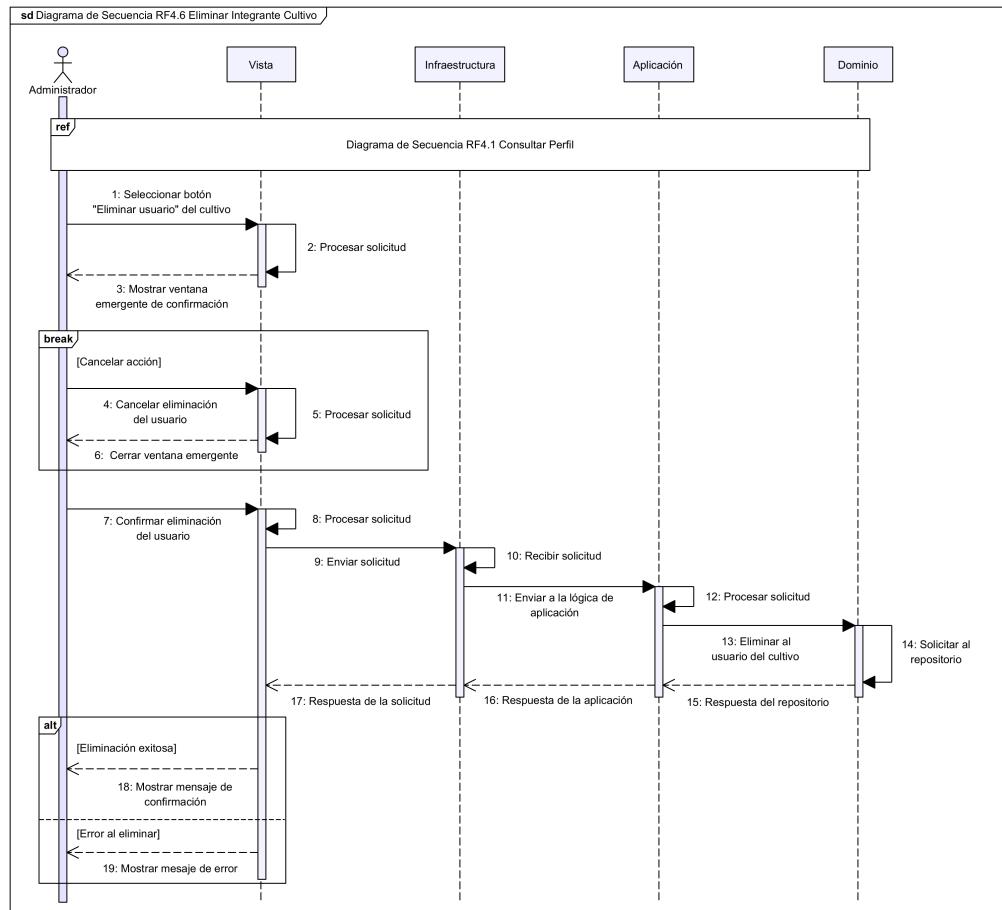


Figura 28

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

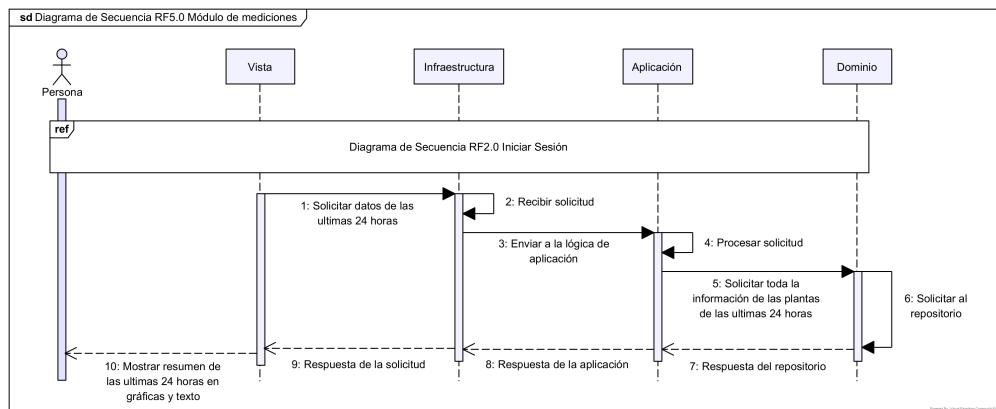


Figura 29

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

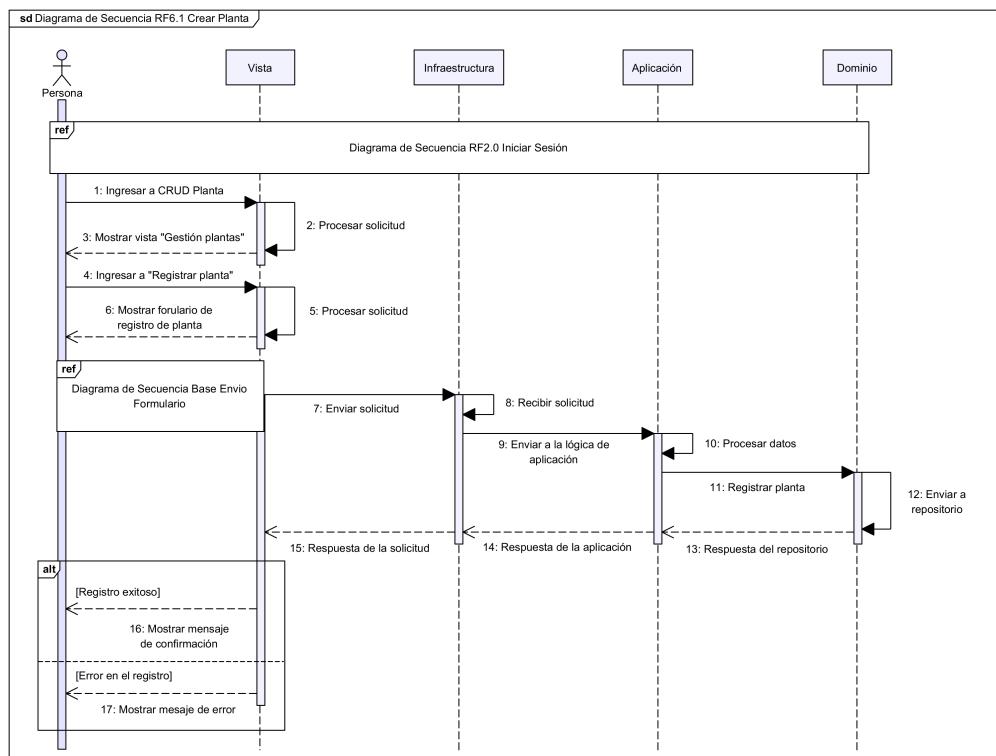


Figura 30

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

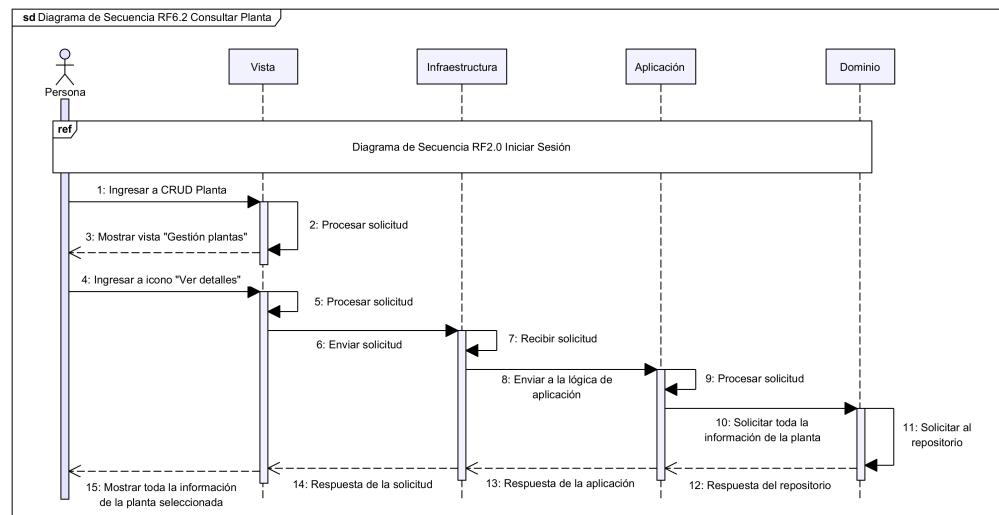


Figura 31

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

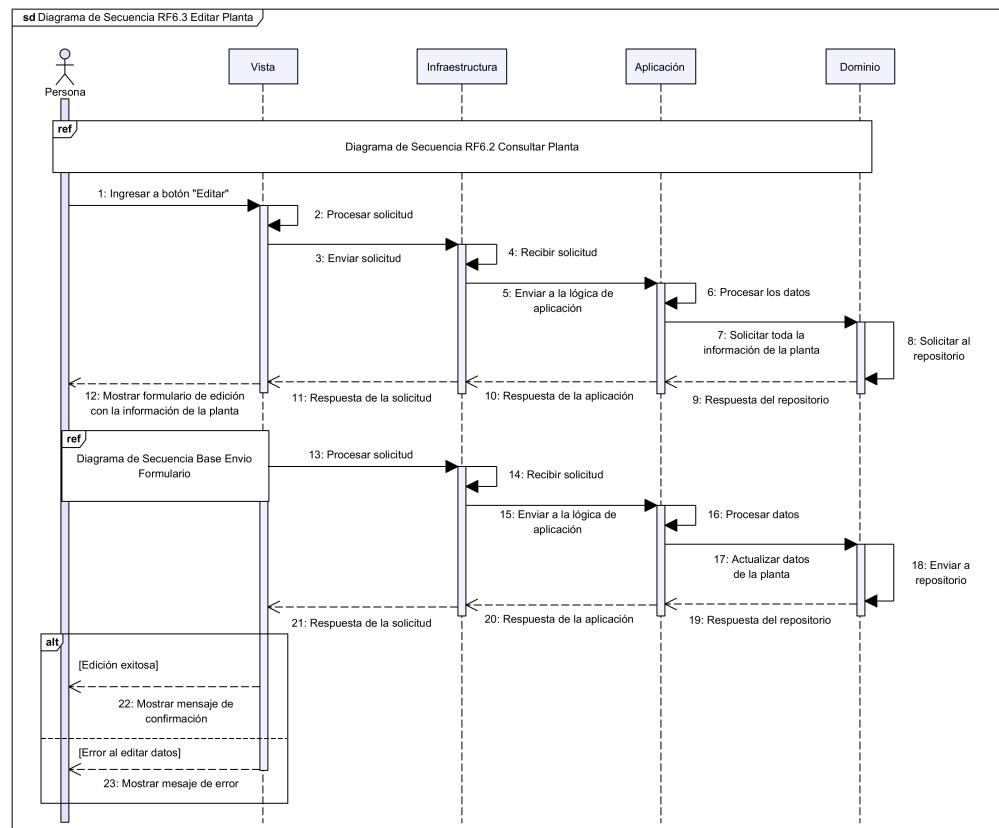


Figura 32

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

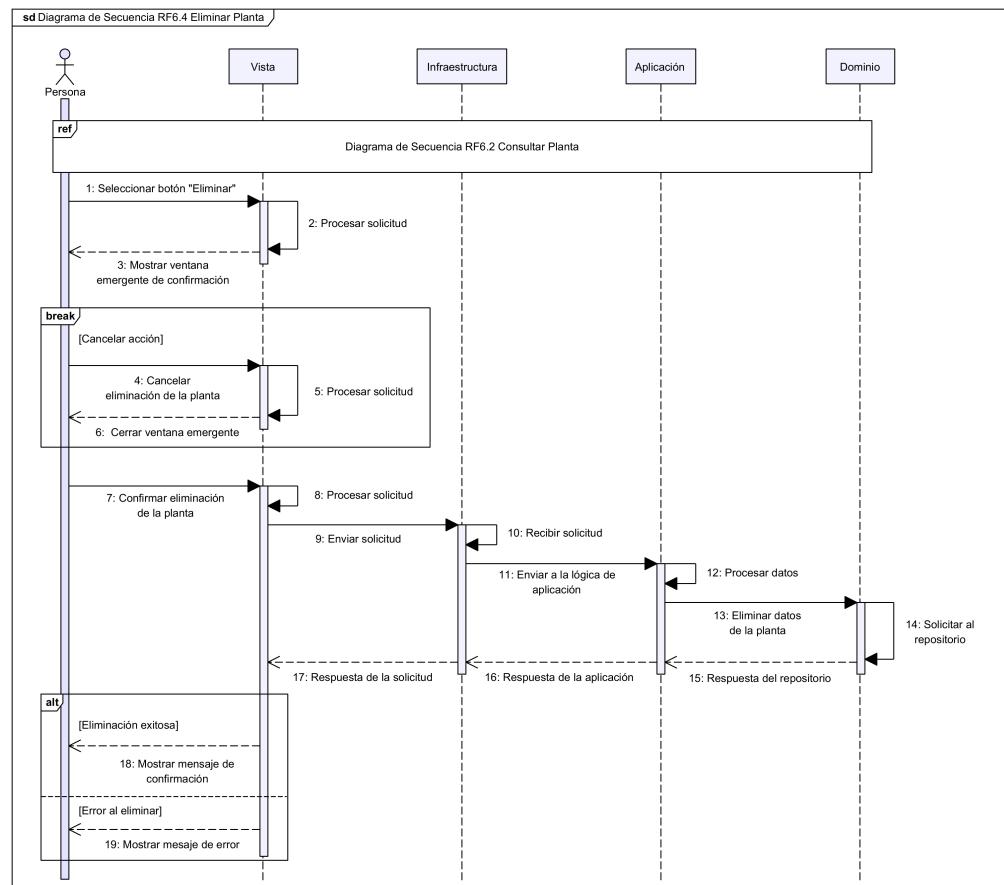


Figura 33

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

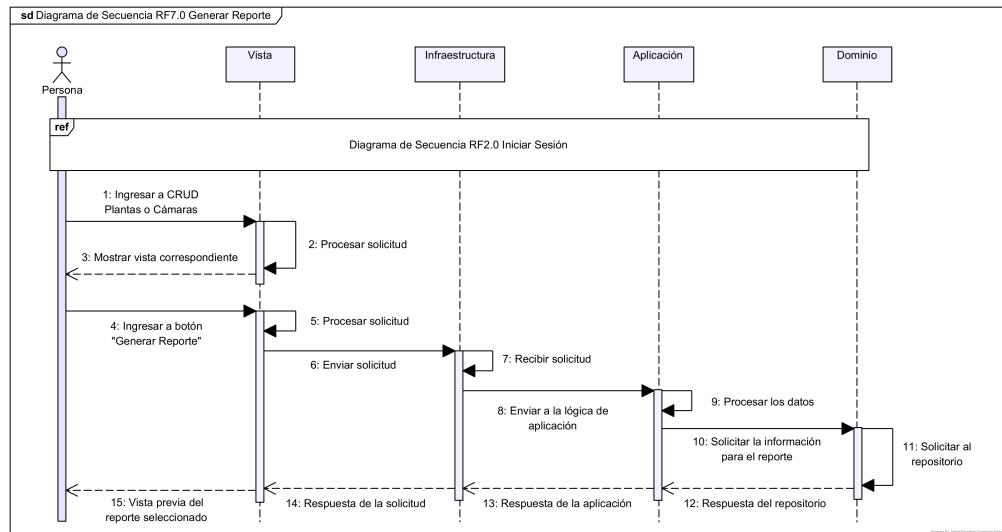


Figura 34

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

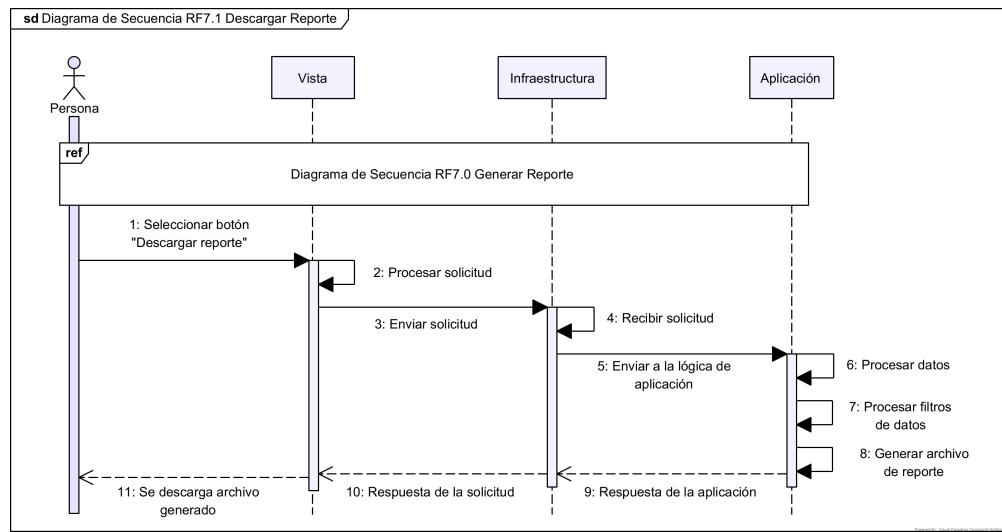


Figura 35

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

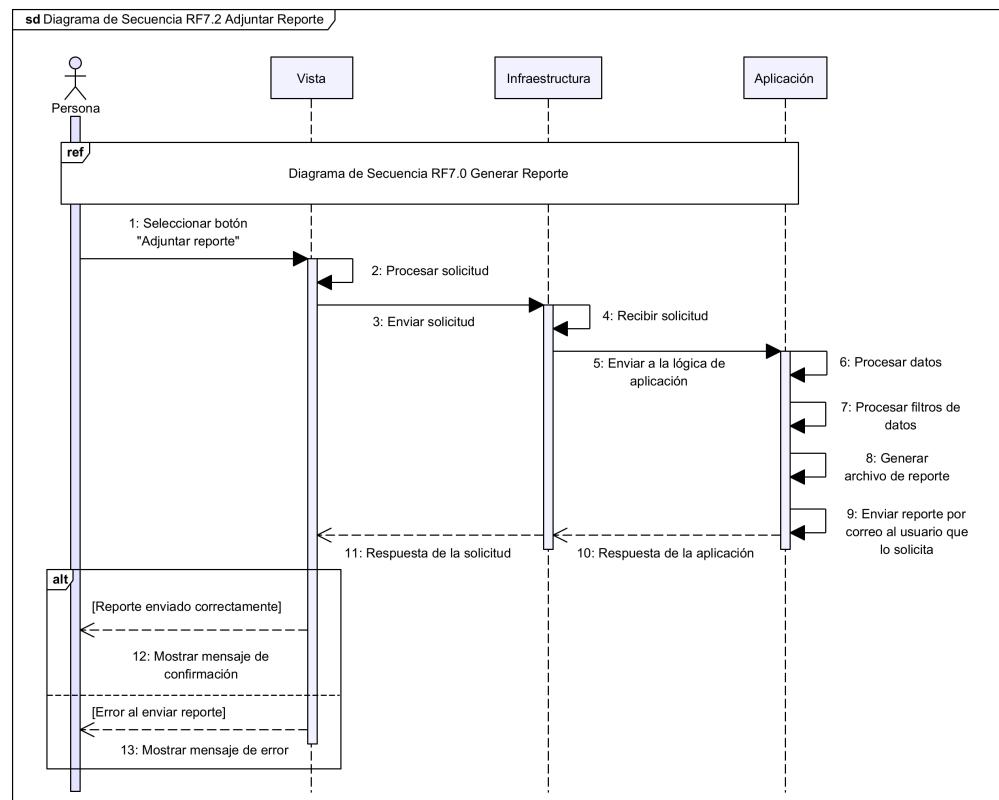


Figura 36

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

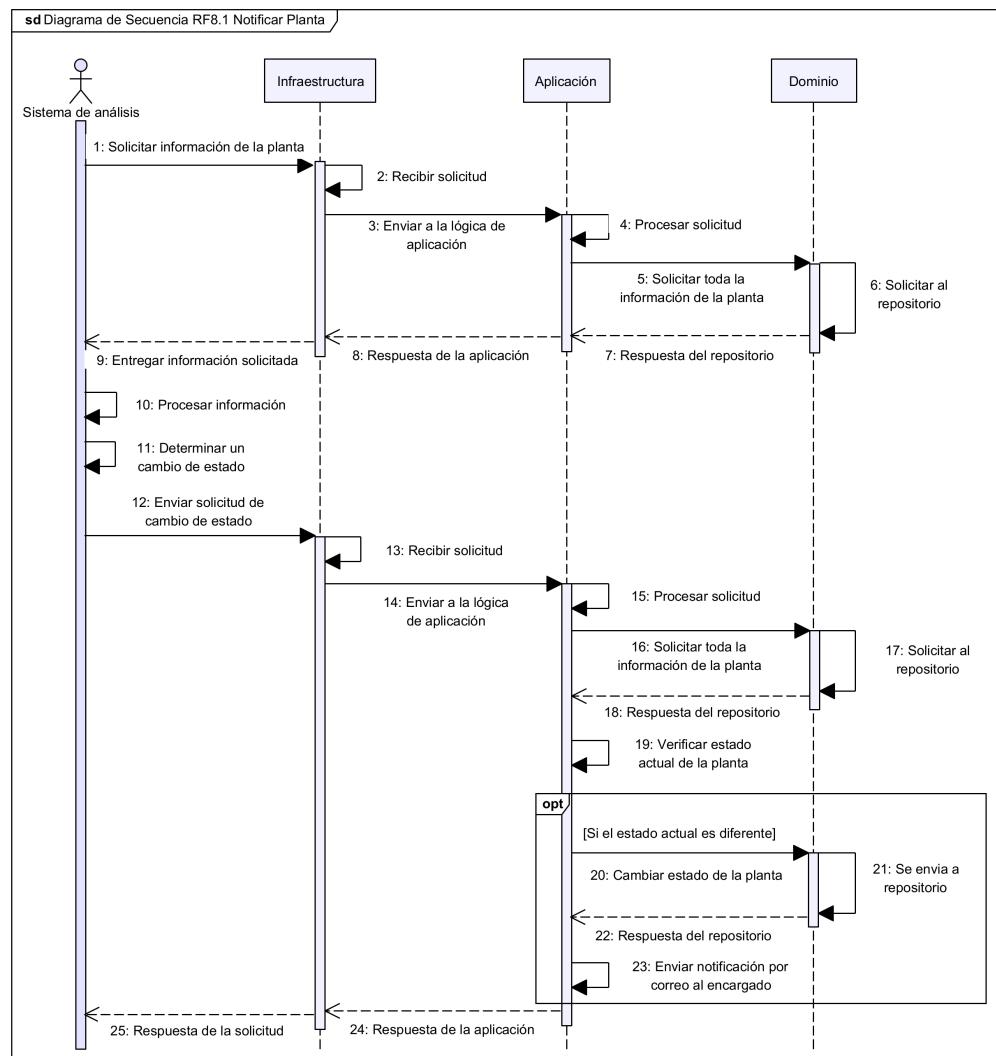


Figura 37

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

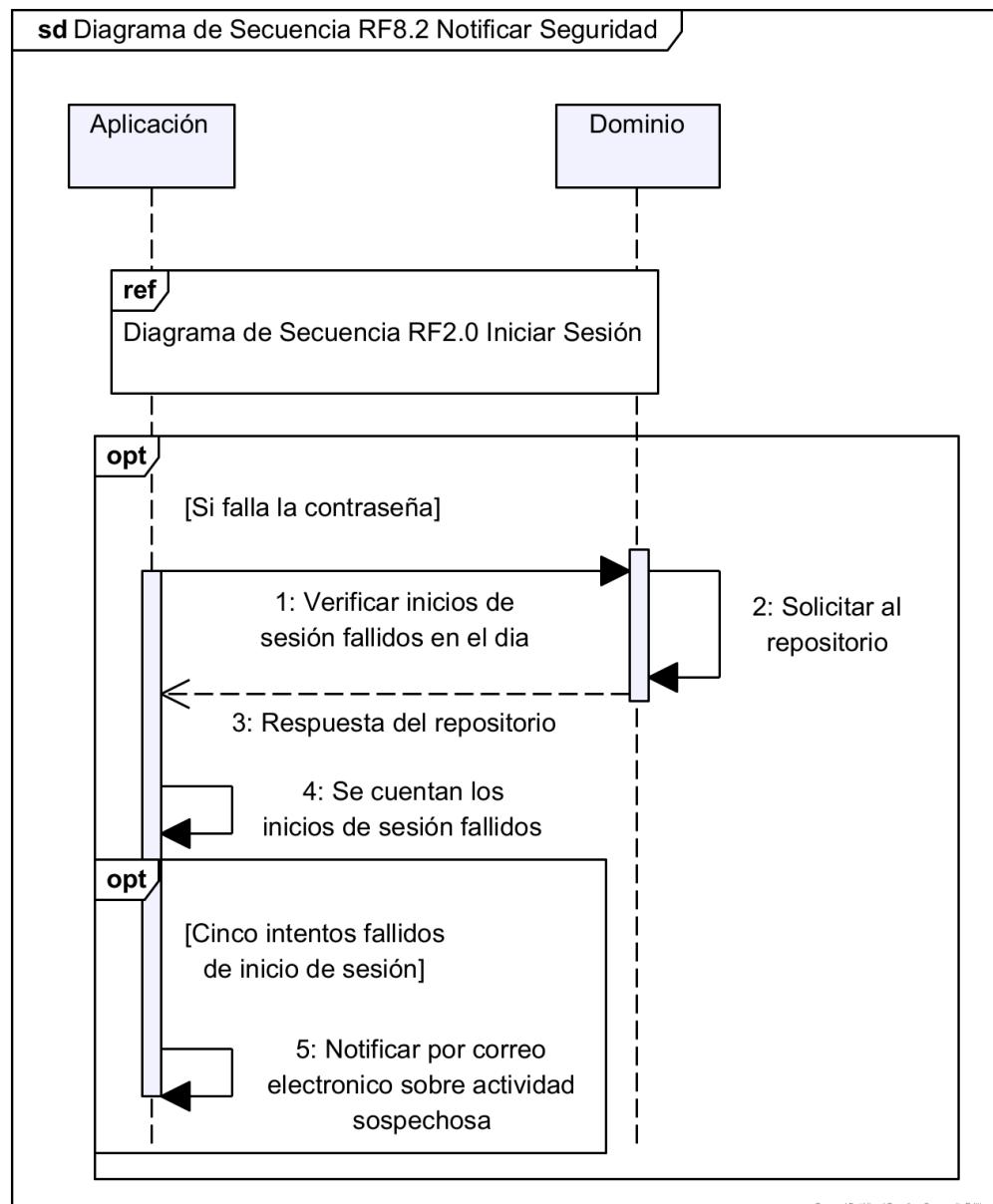


Figura 38

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

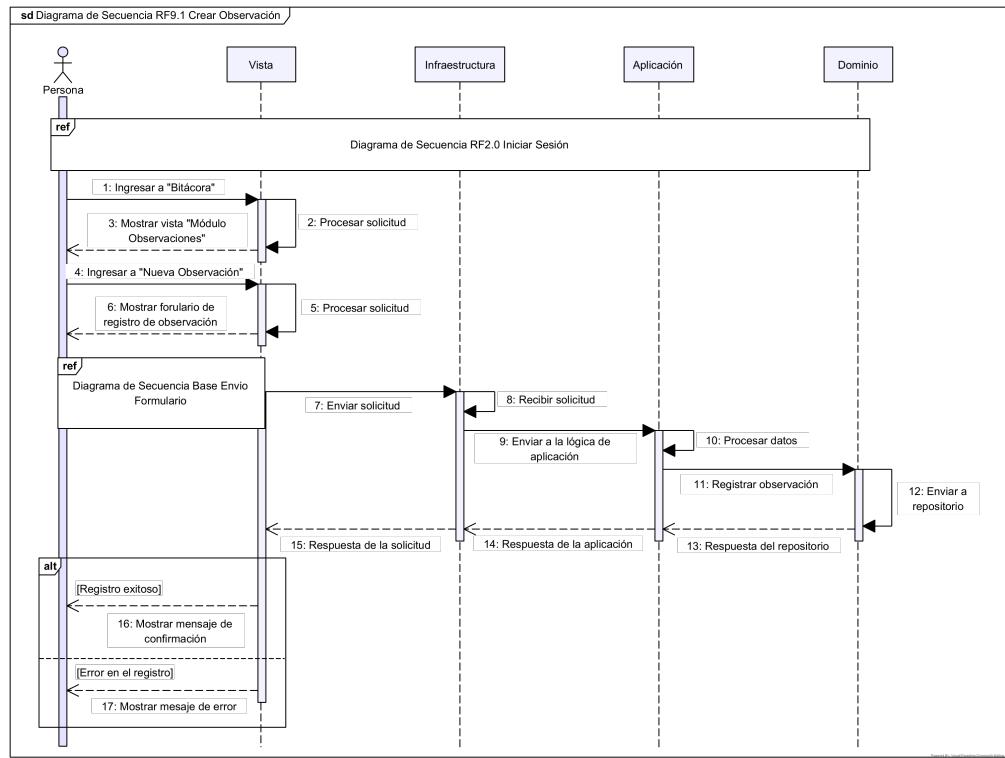
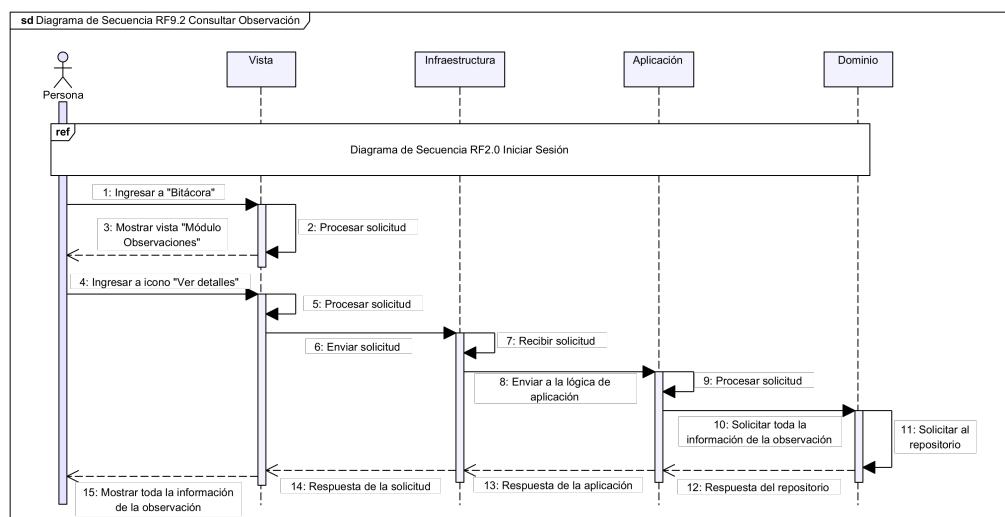


Figura 39

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



2.3.4. Diagramas de Actividades

Figura 40

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

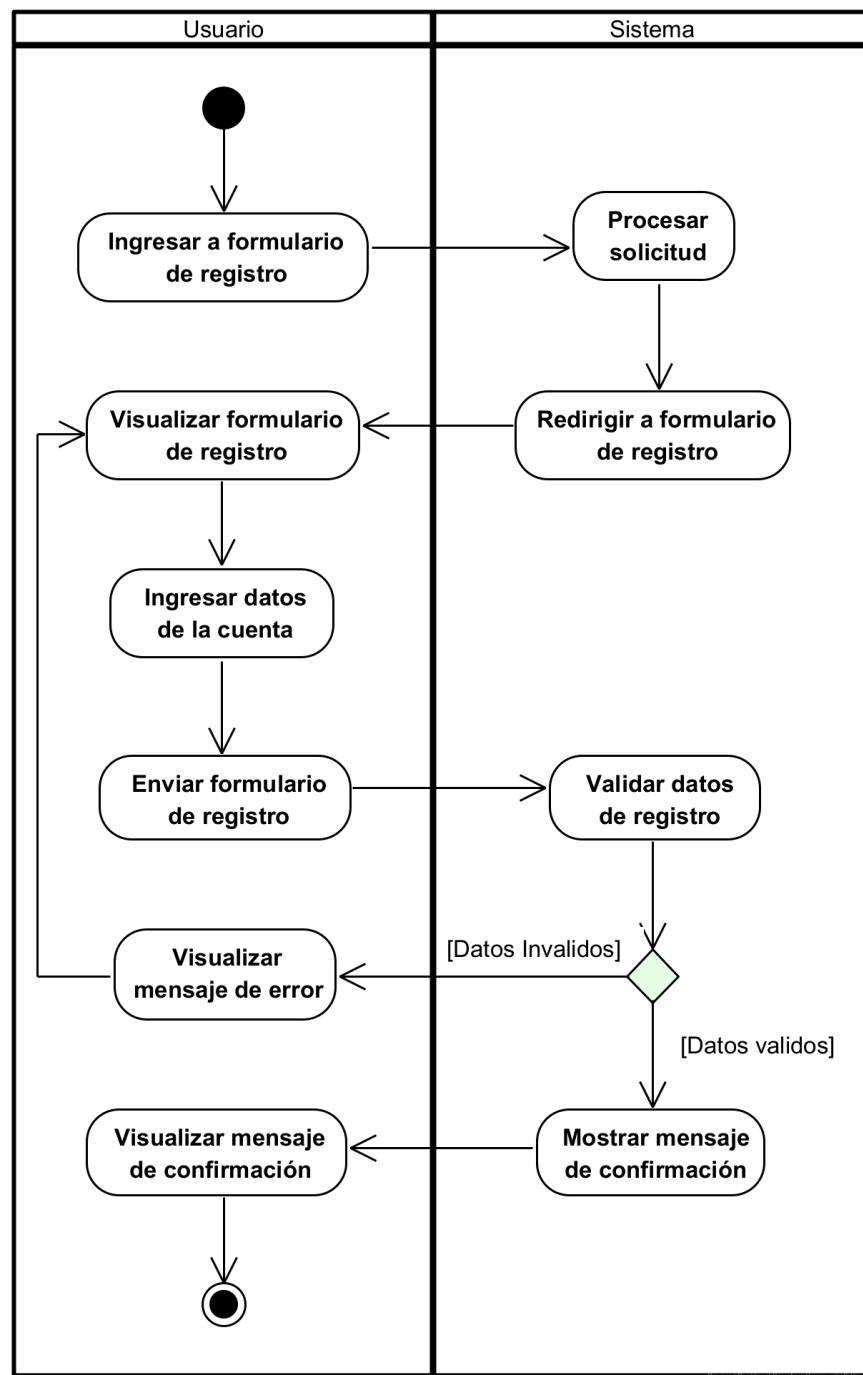


Figura 41

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

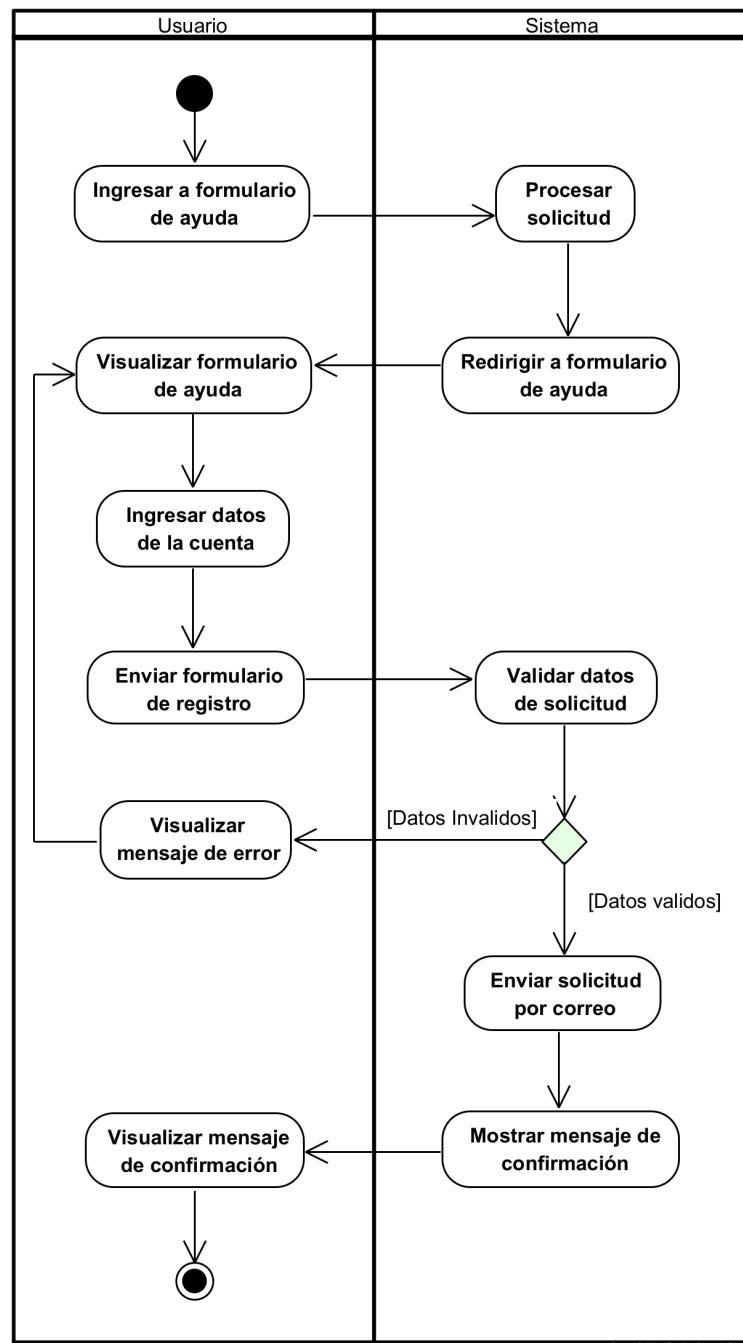


Figura 42

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

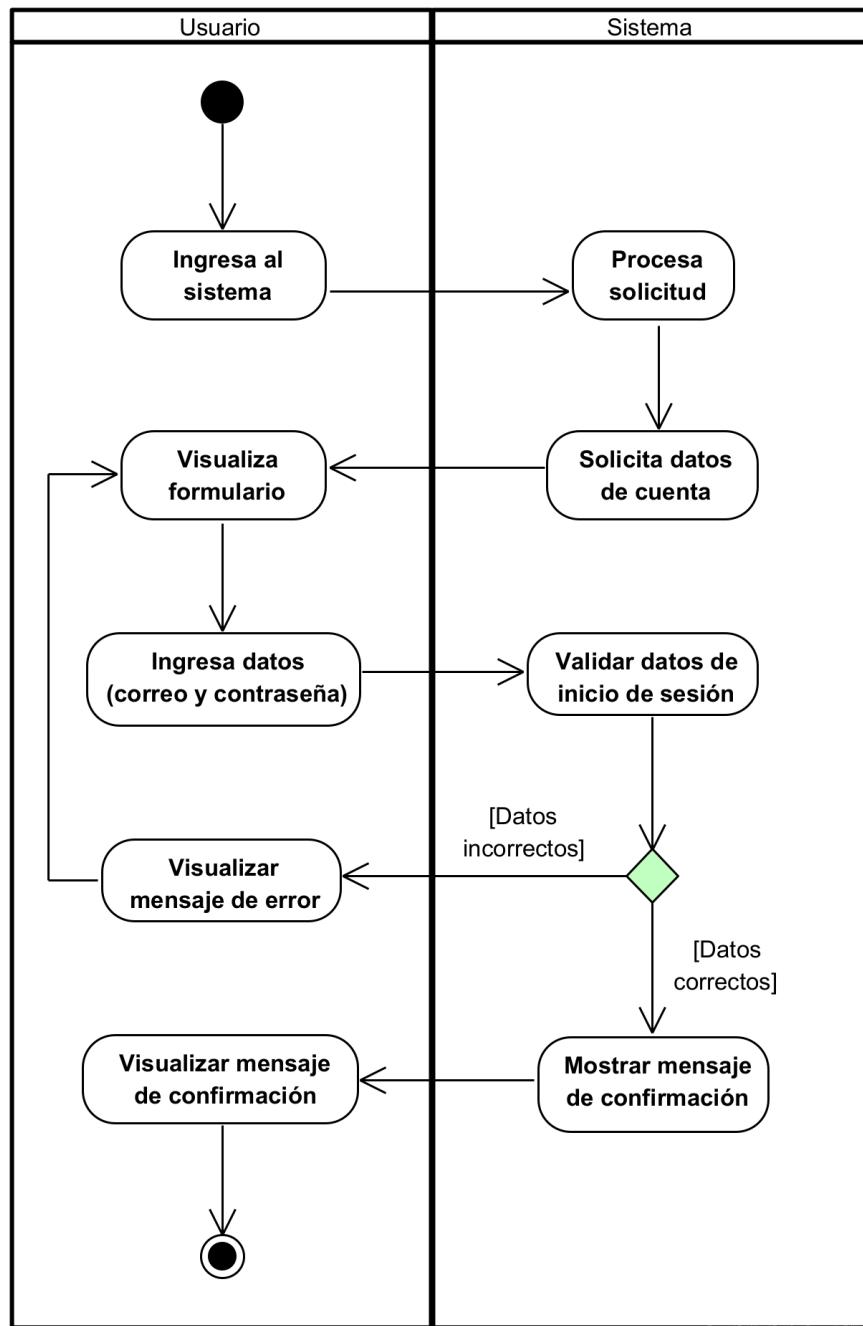


Figura 43

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

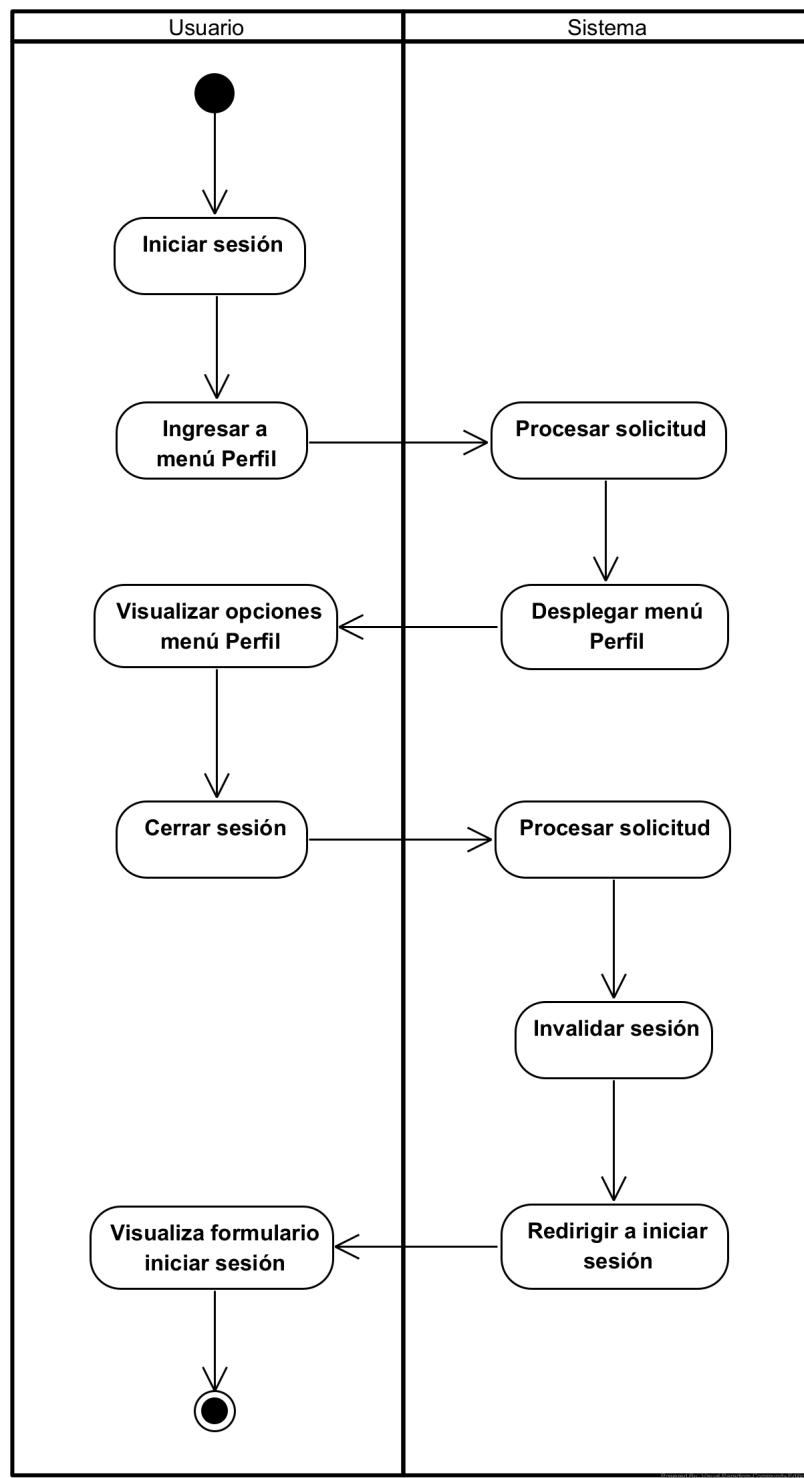


Figura 44

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

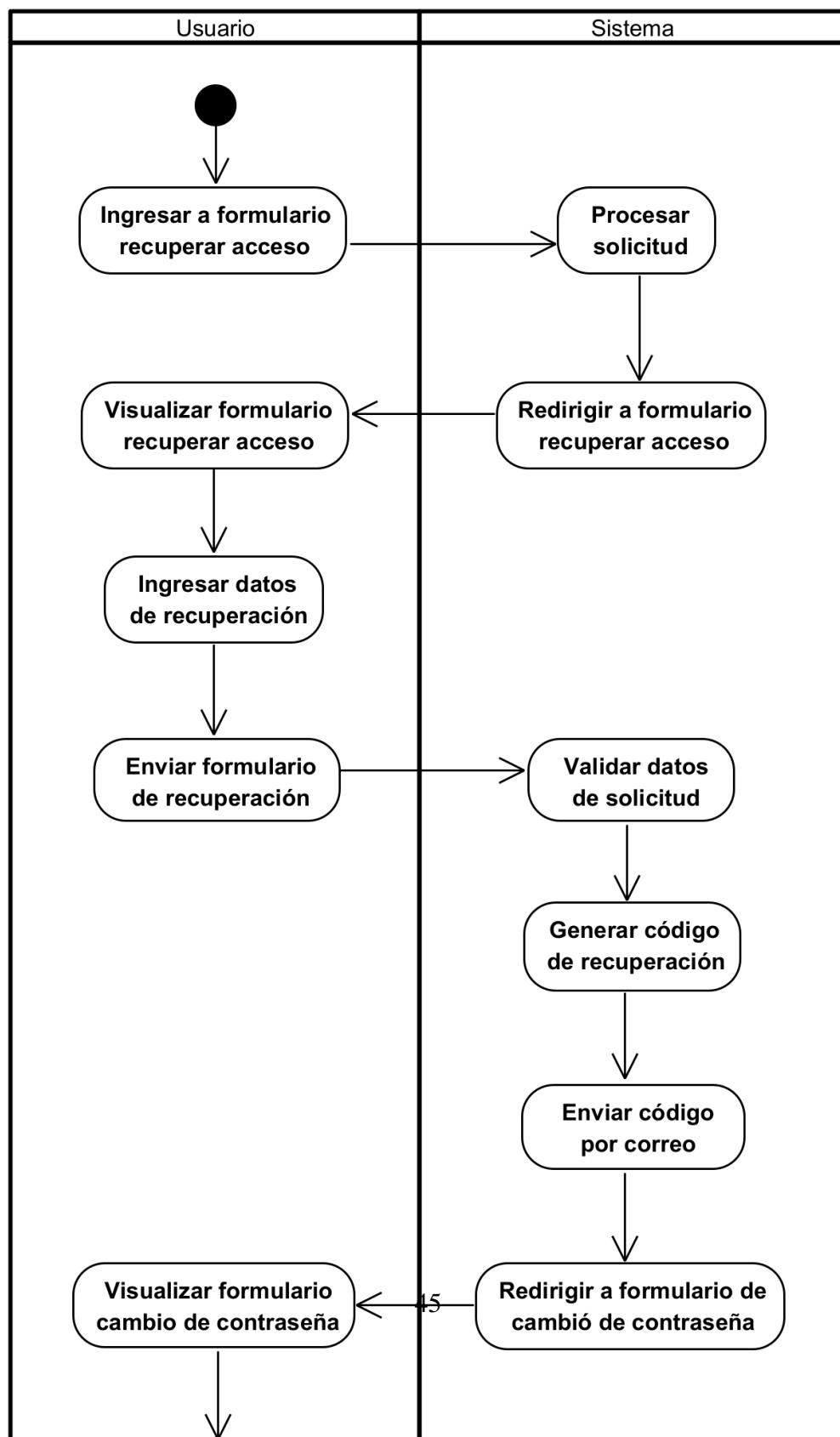


Figura 45

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

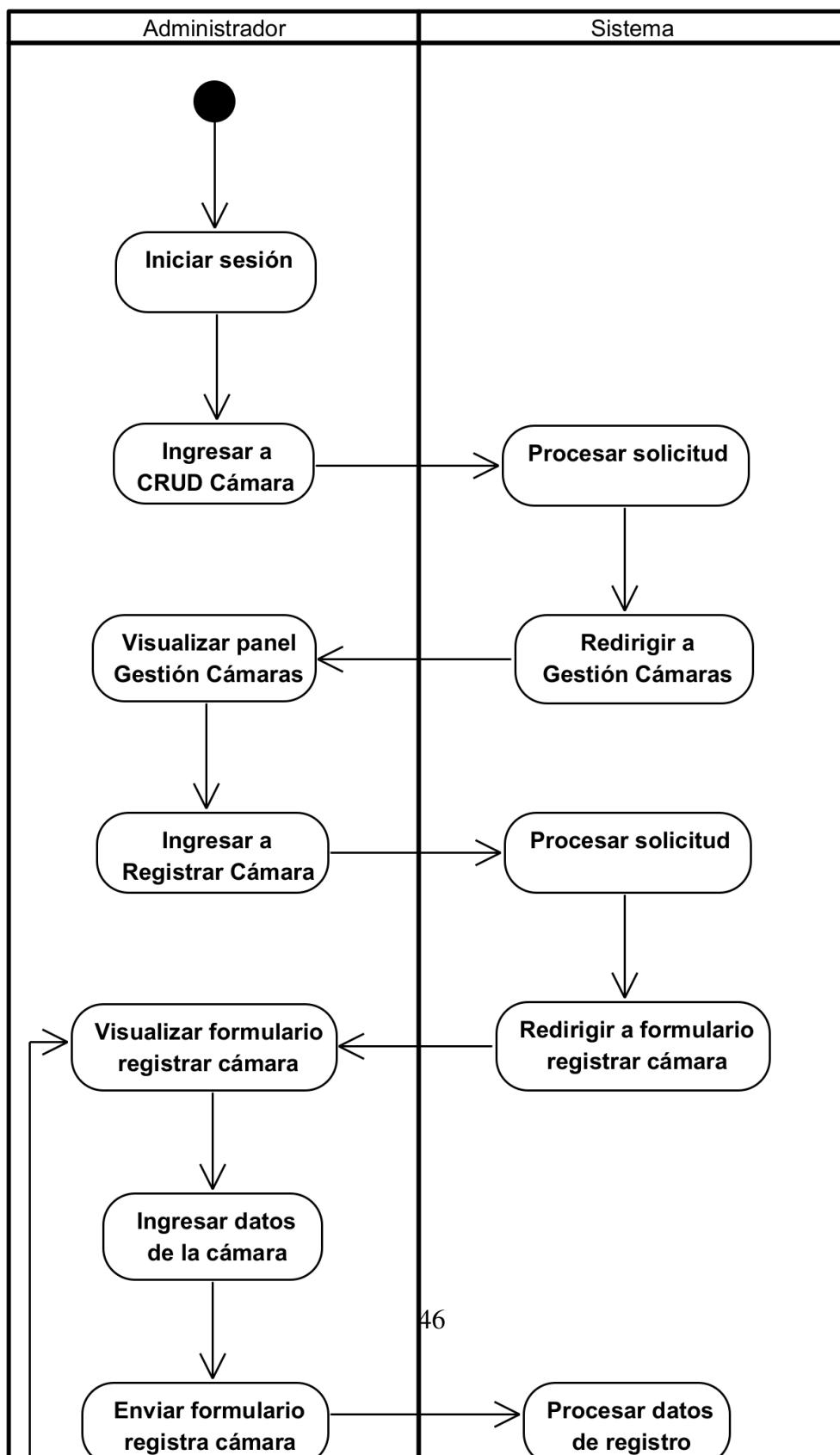


Figura 46

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

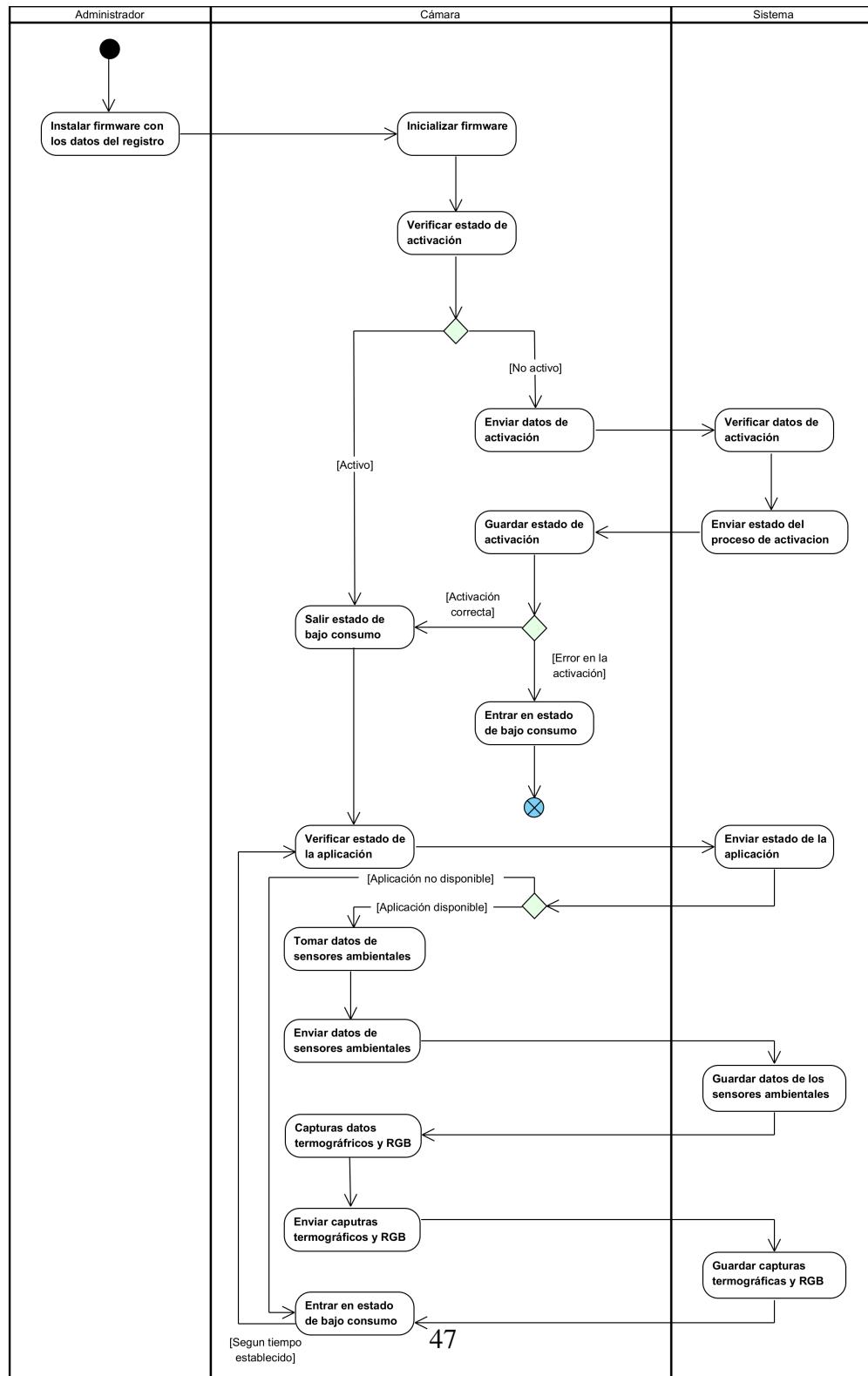


Figura 47

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

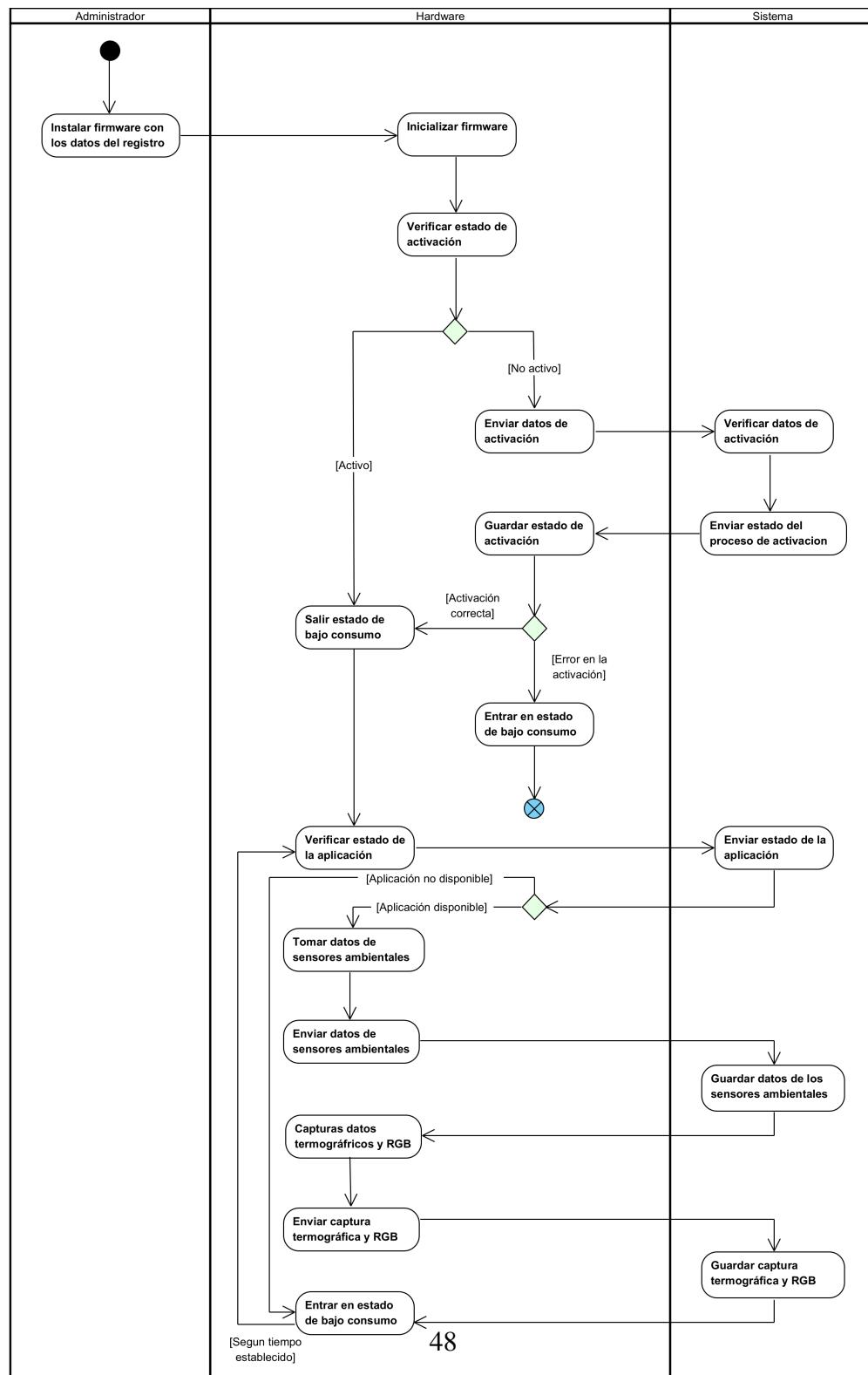


Figura 48

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

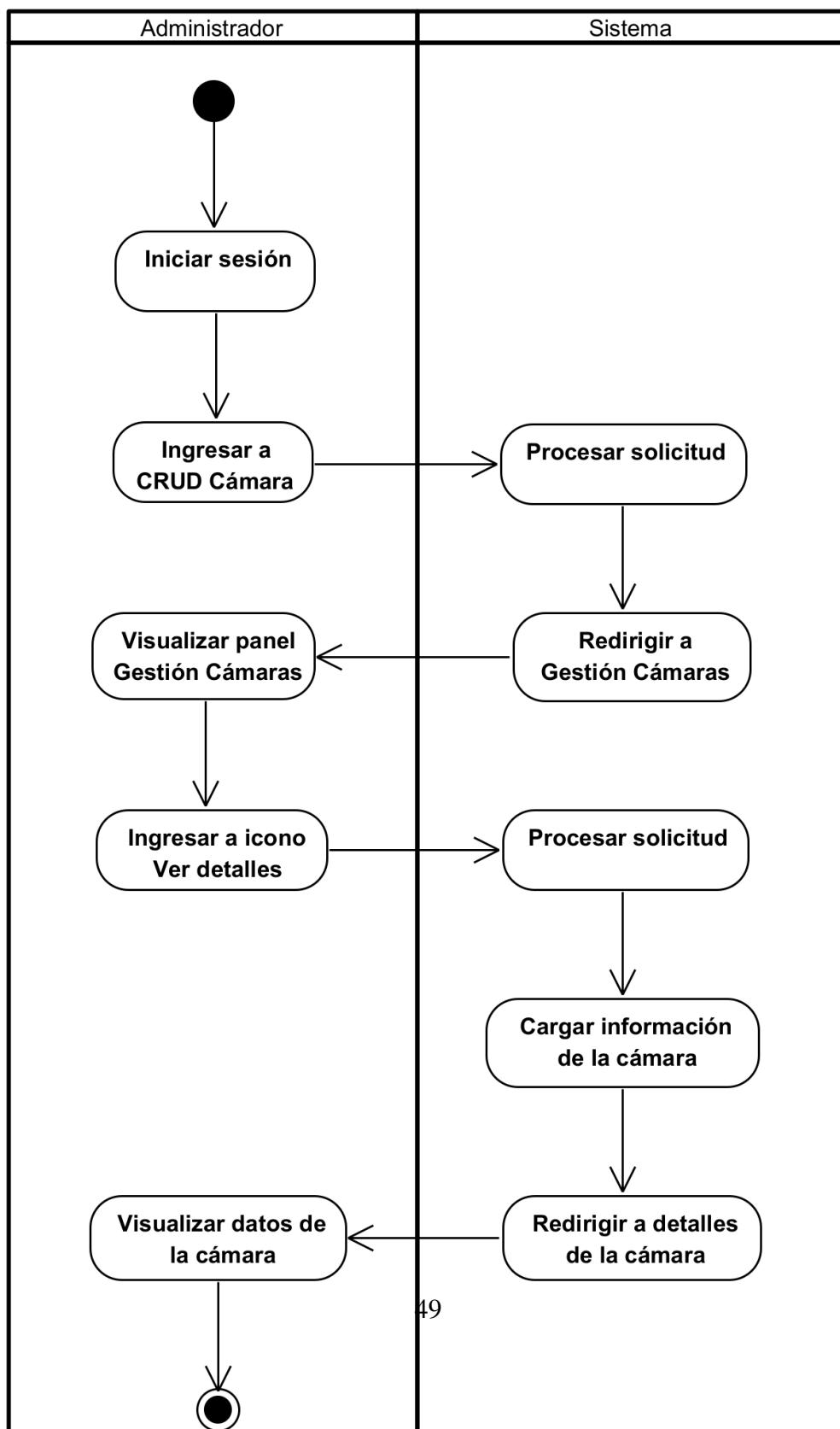


Figura 49

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

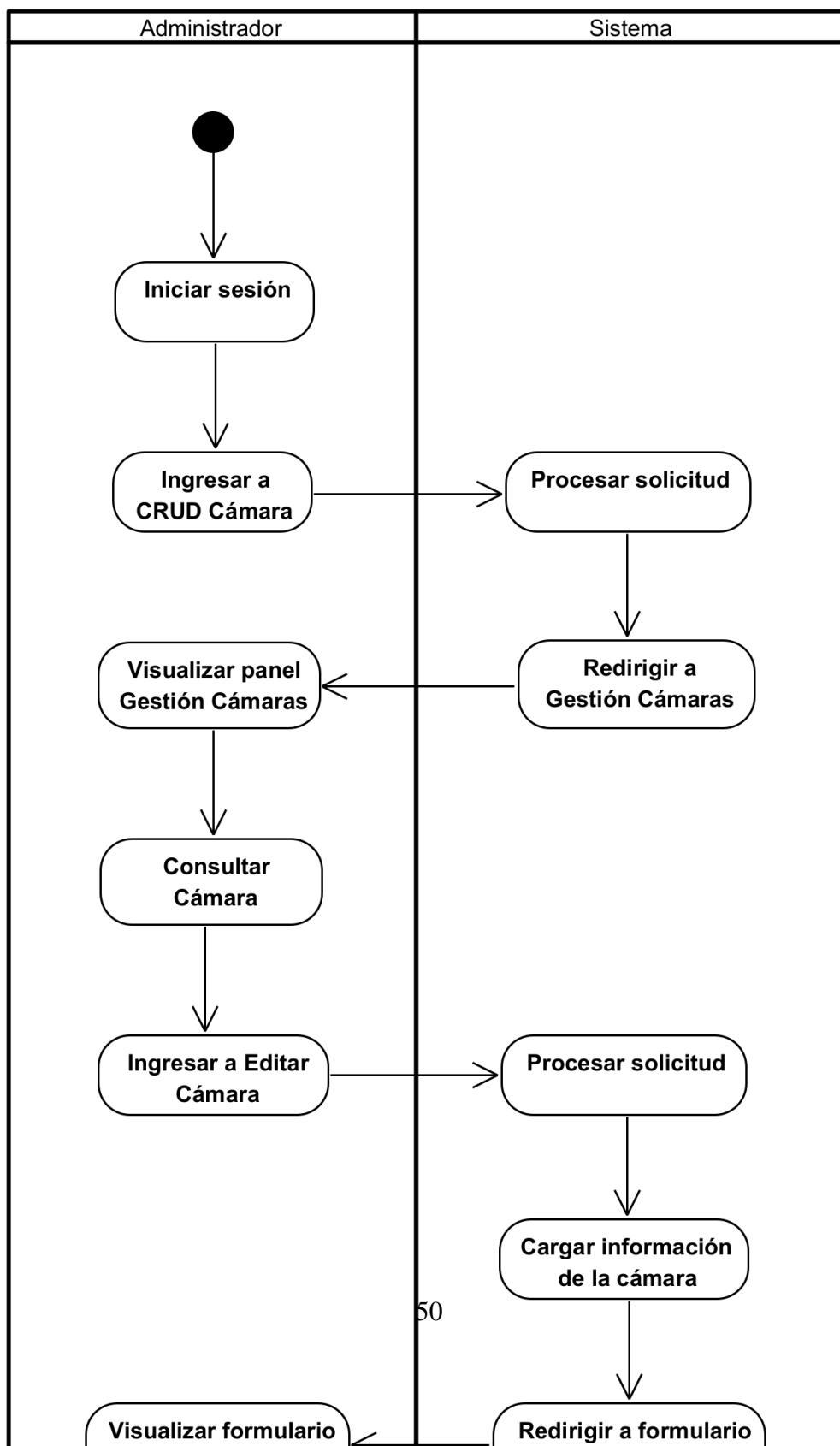


Figura 50

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

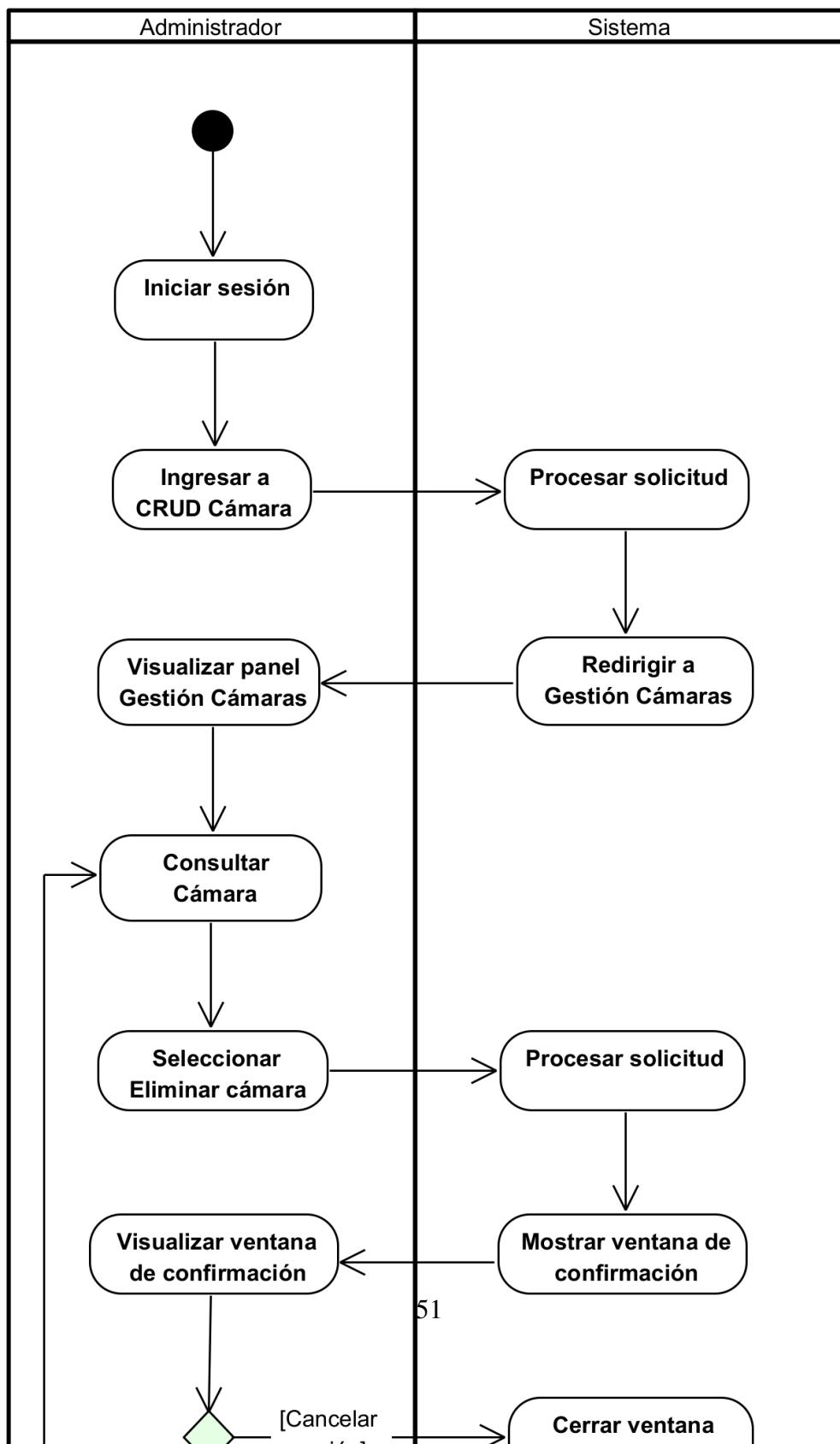


Figura 51

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

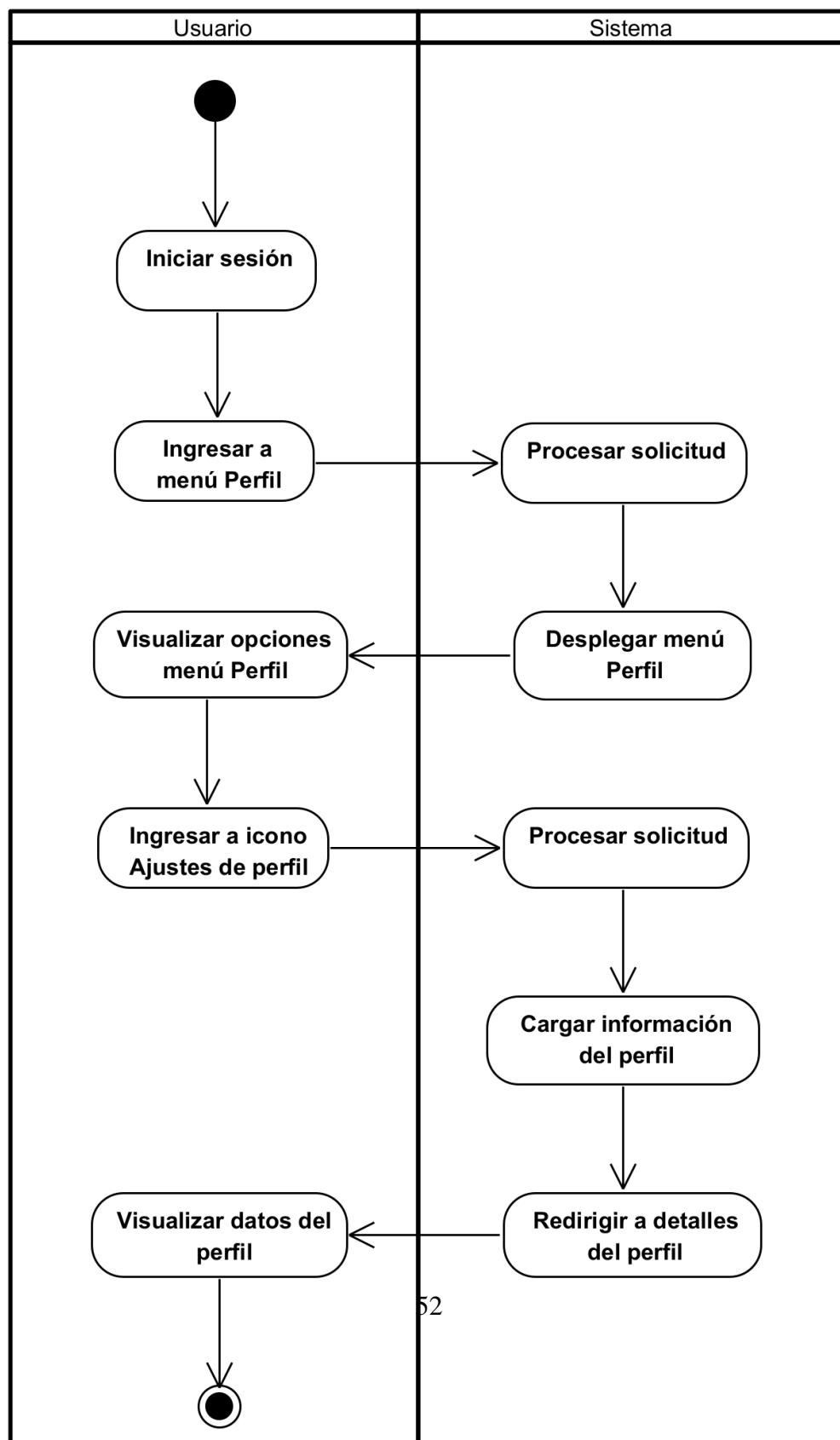


Figura 52

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

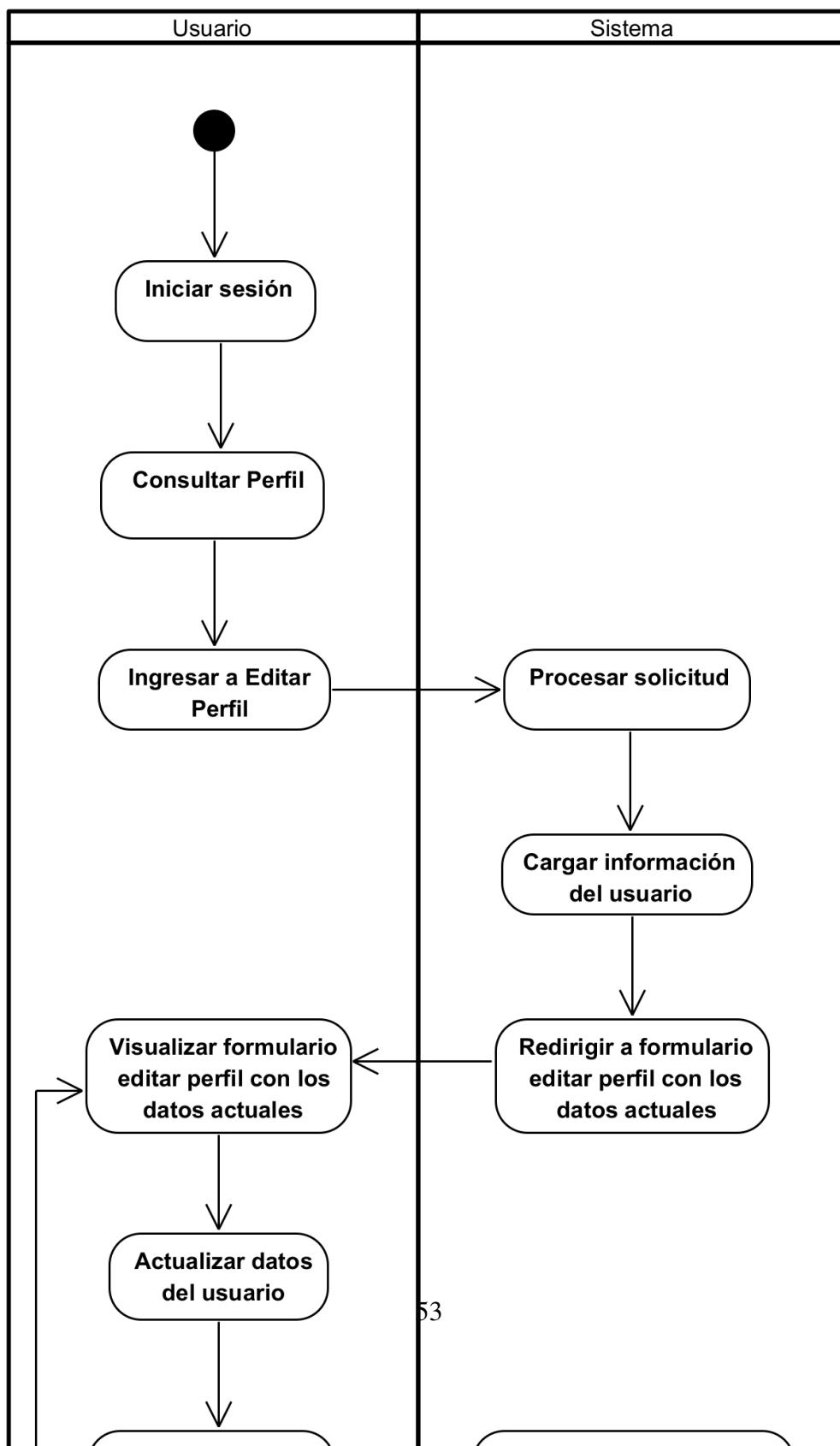


Figura 53

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

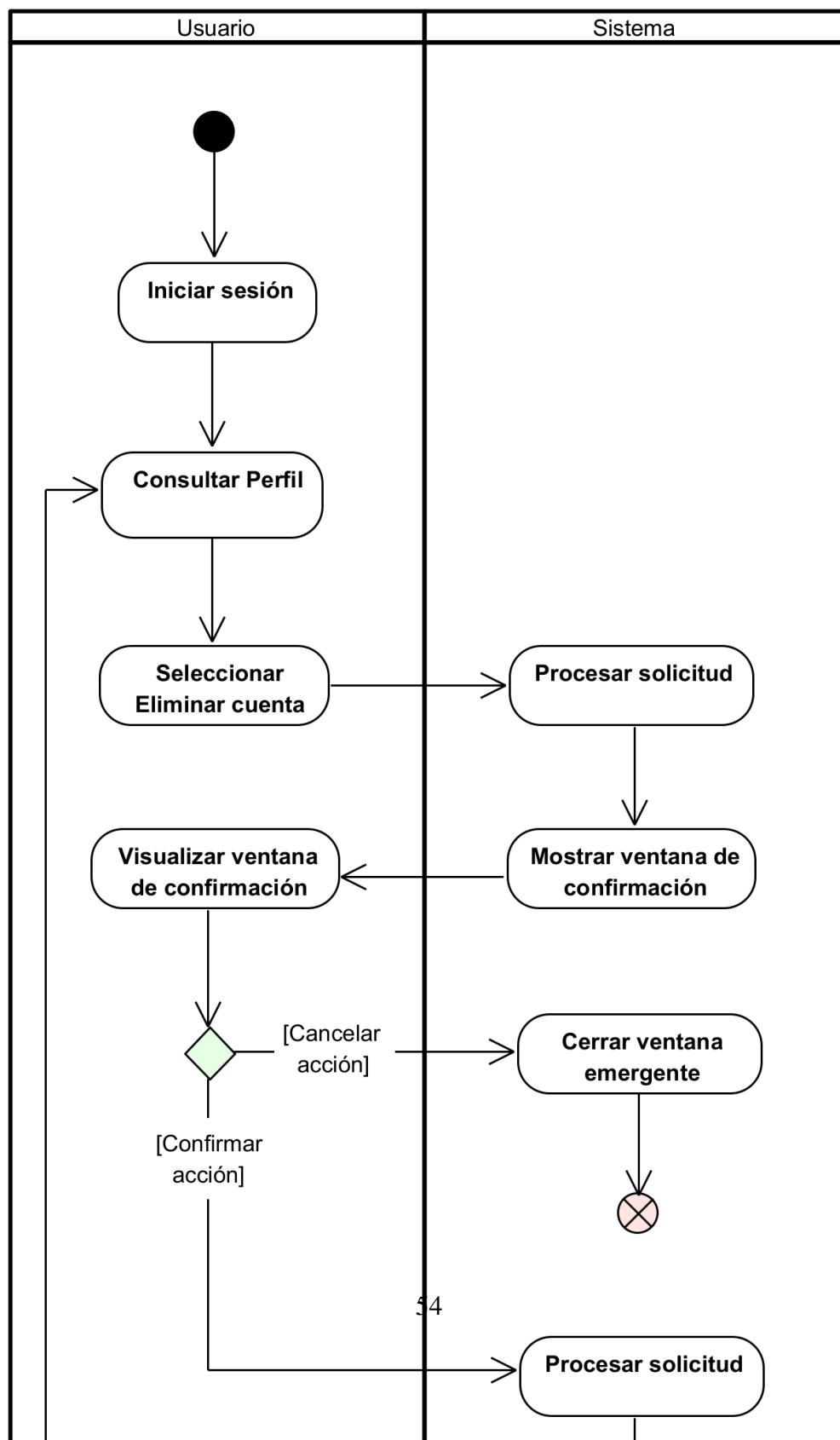


Figura 54

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

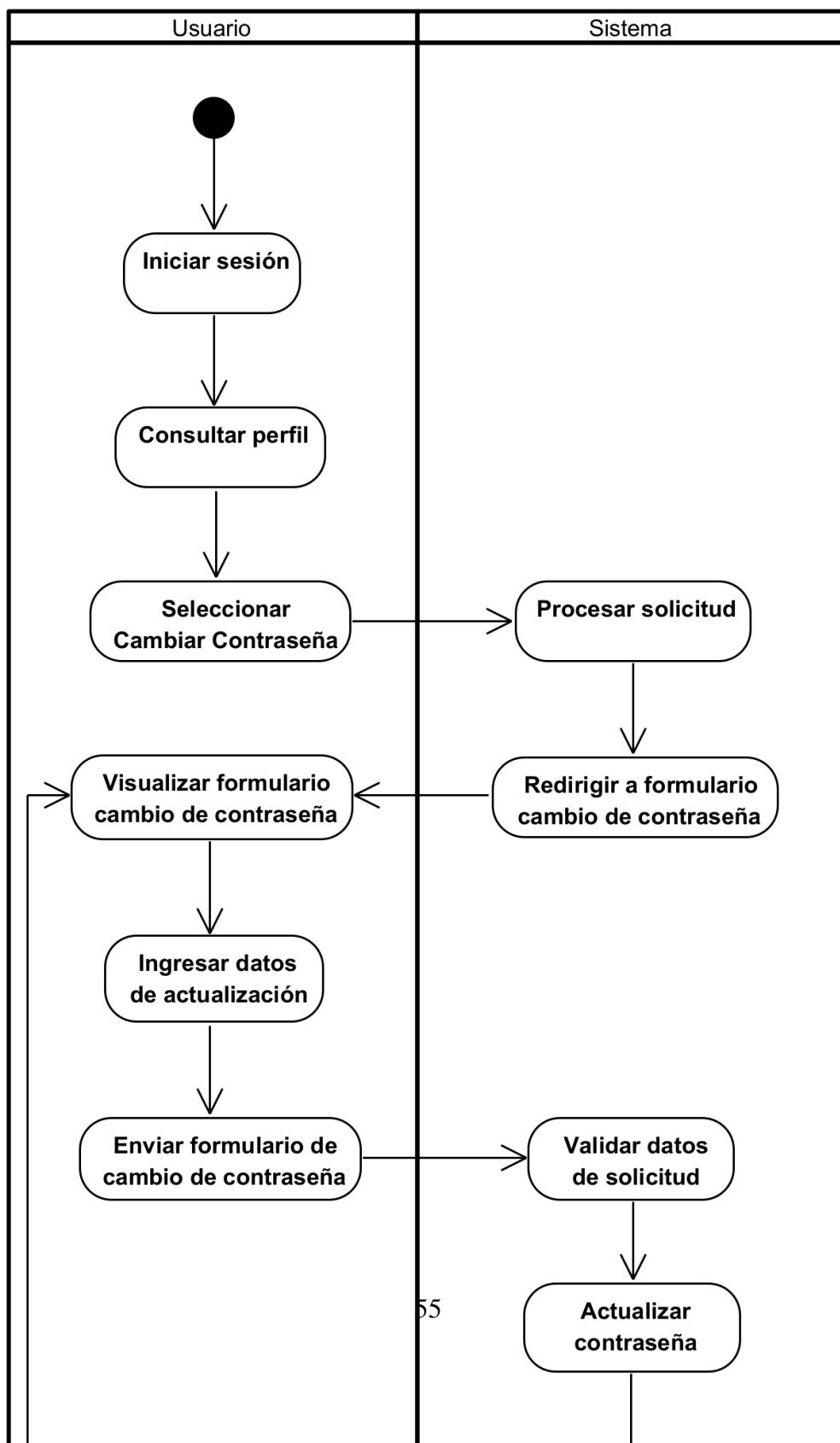


Figura 55

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

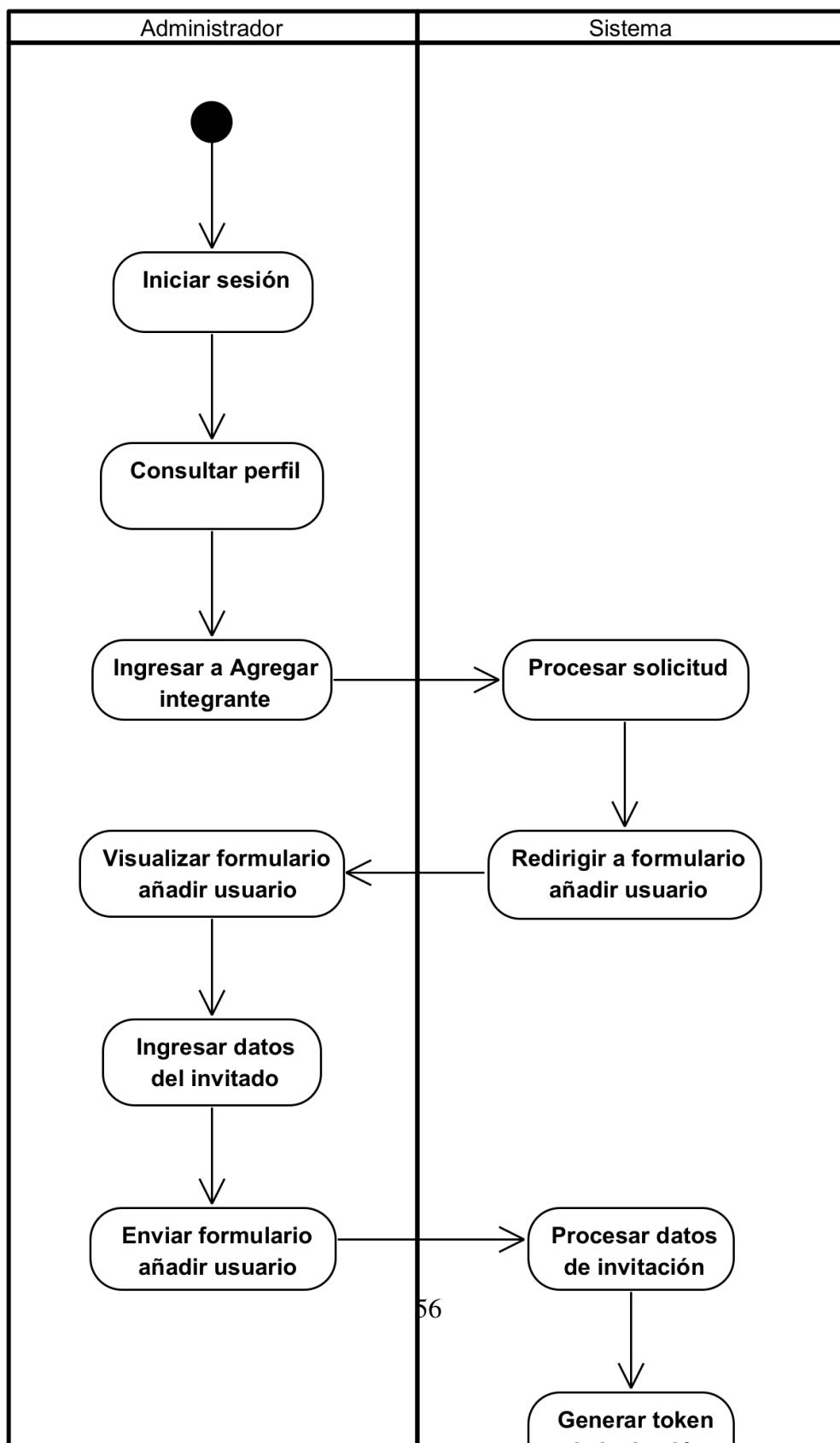


Figura 56

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

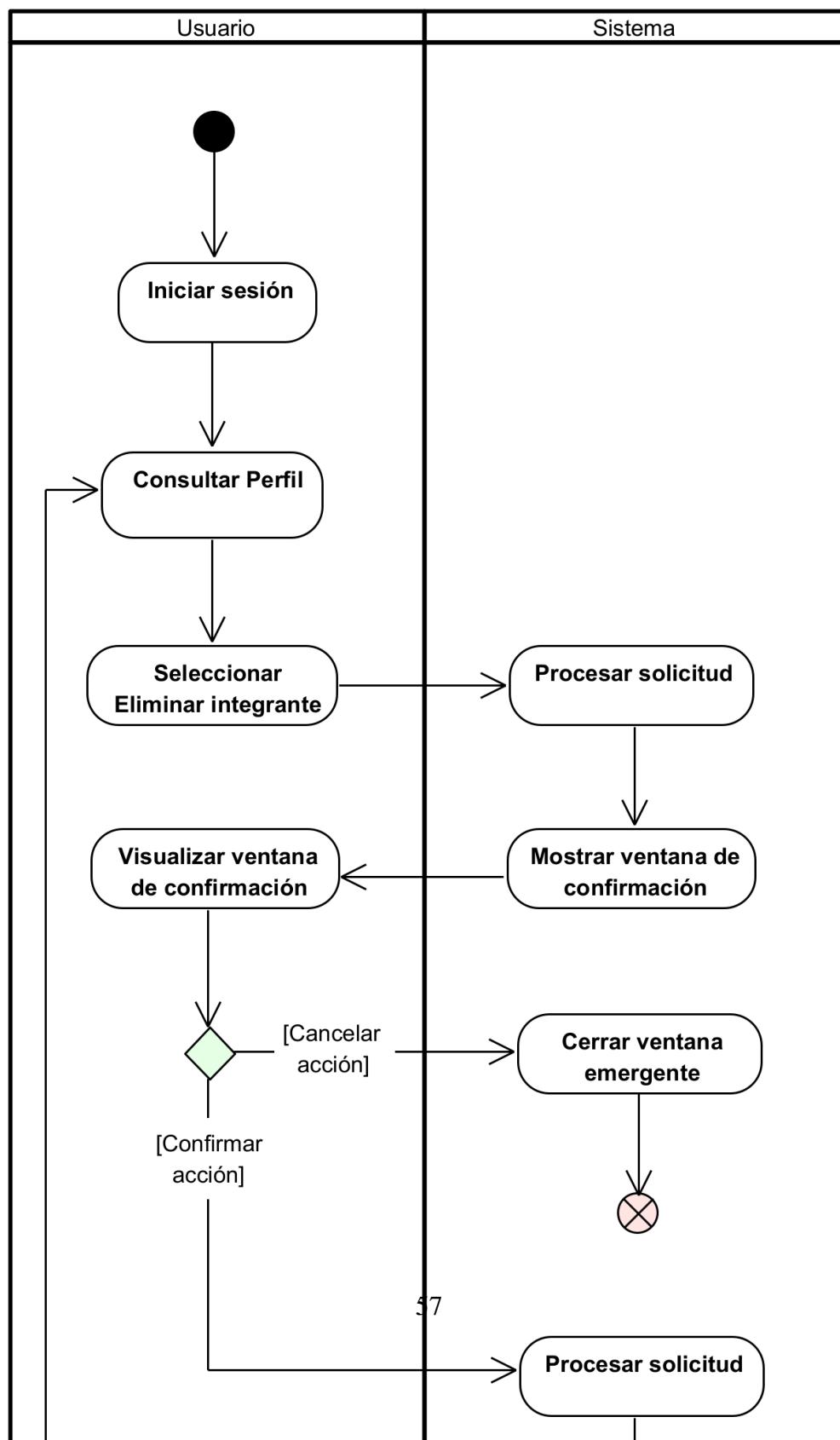


Figura 57

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

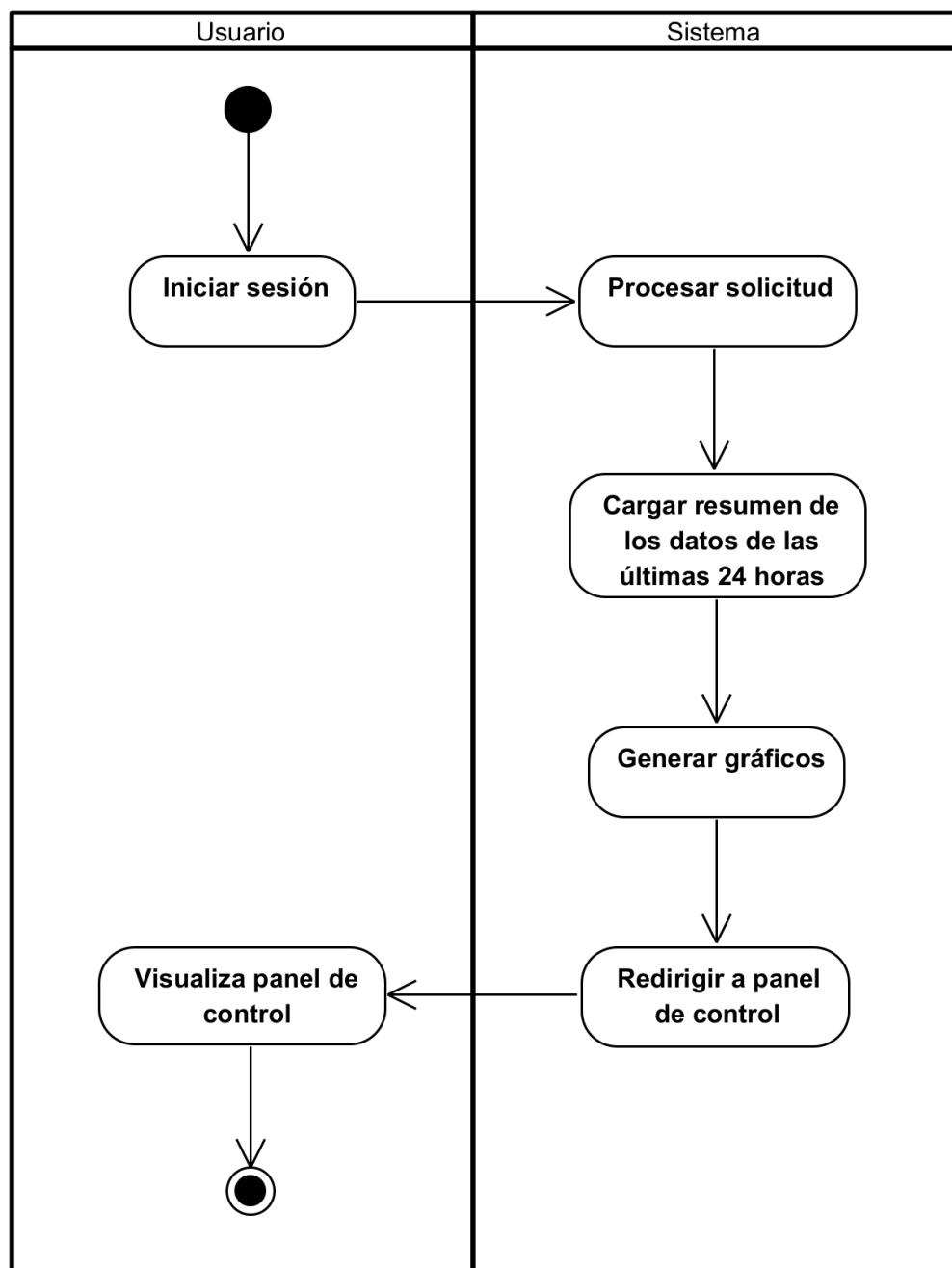


Figura 58

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

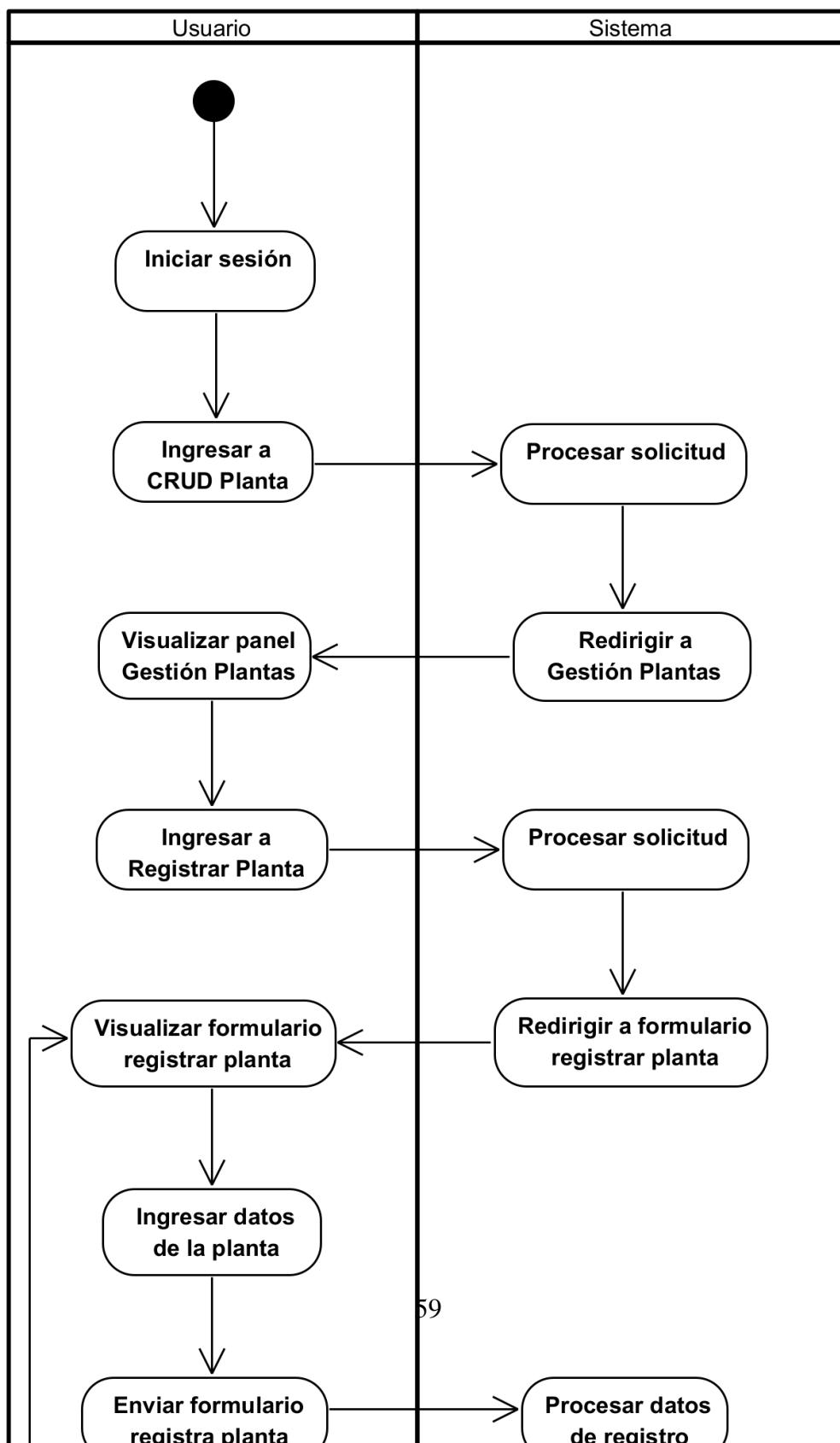


Figura 59

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

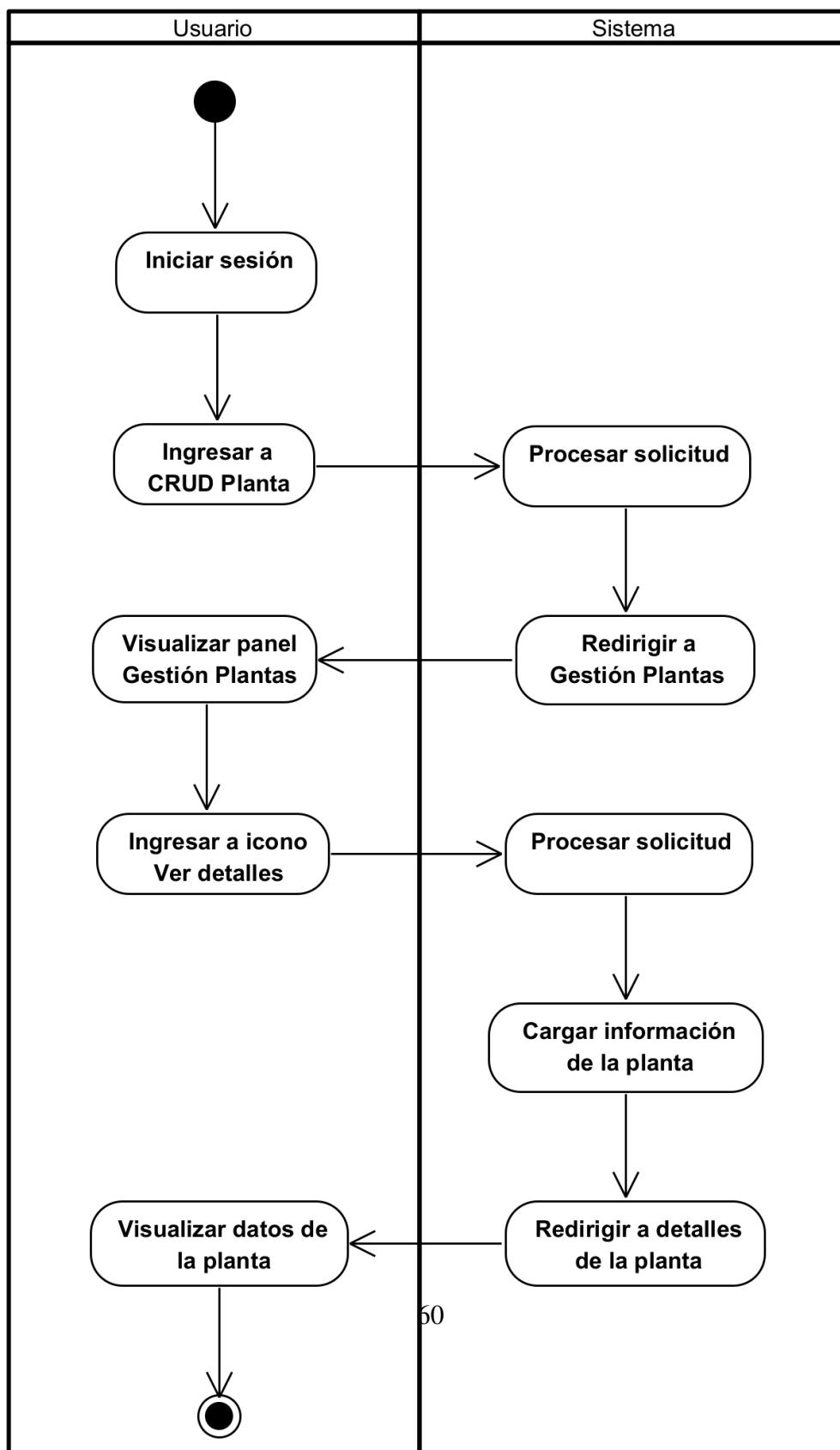


Figura 60

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

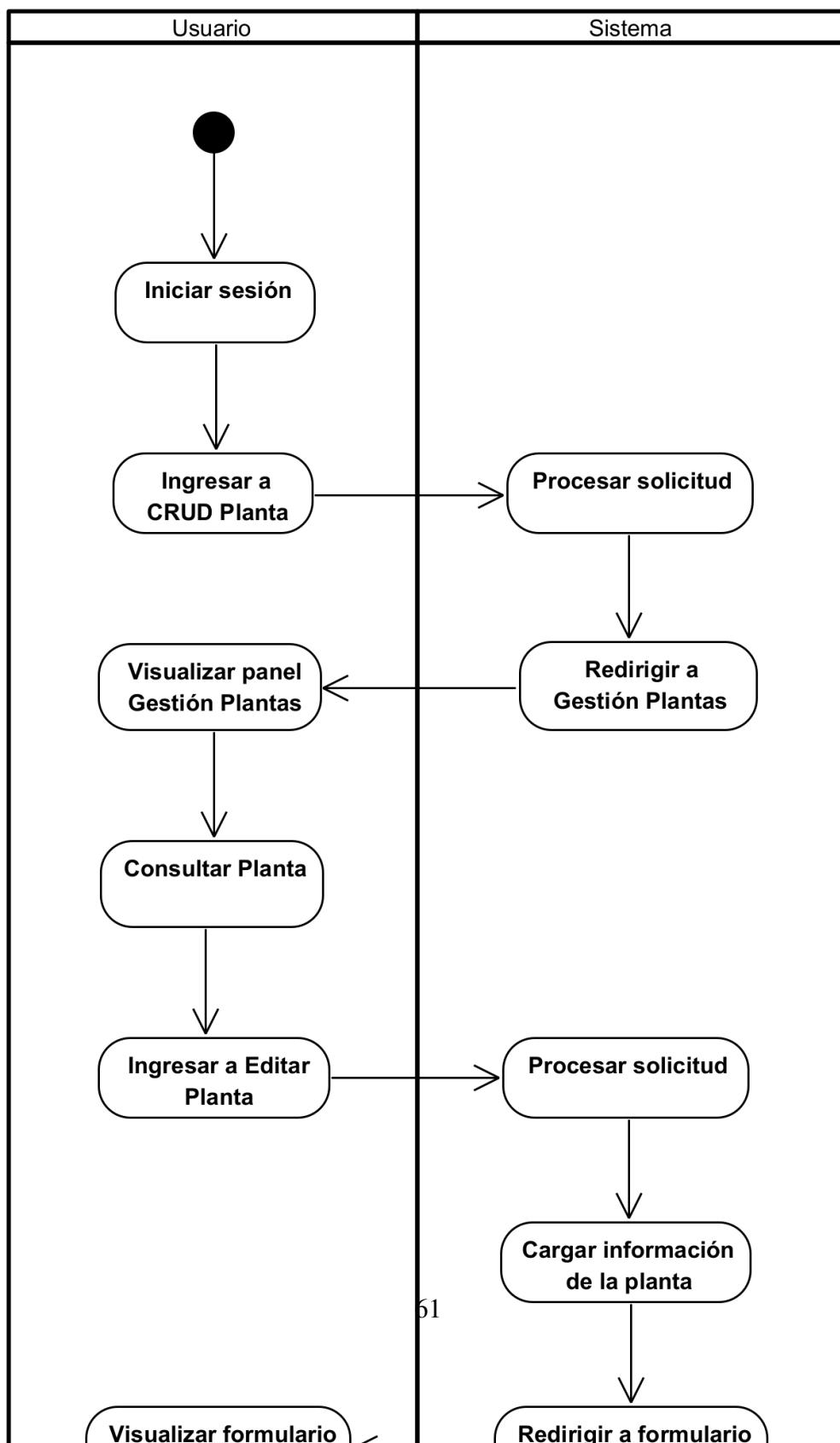


Figura 61

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

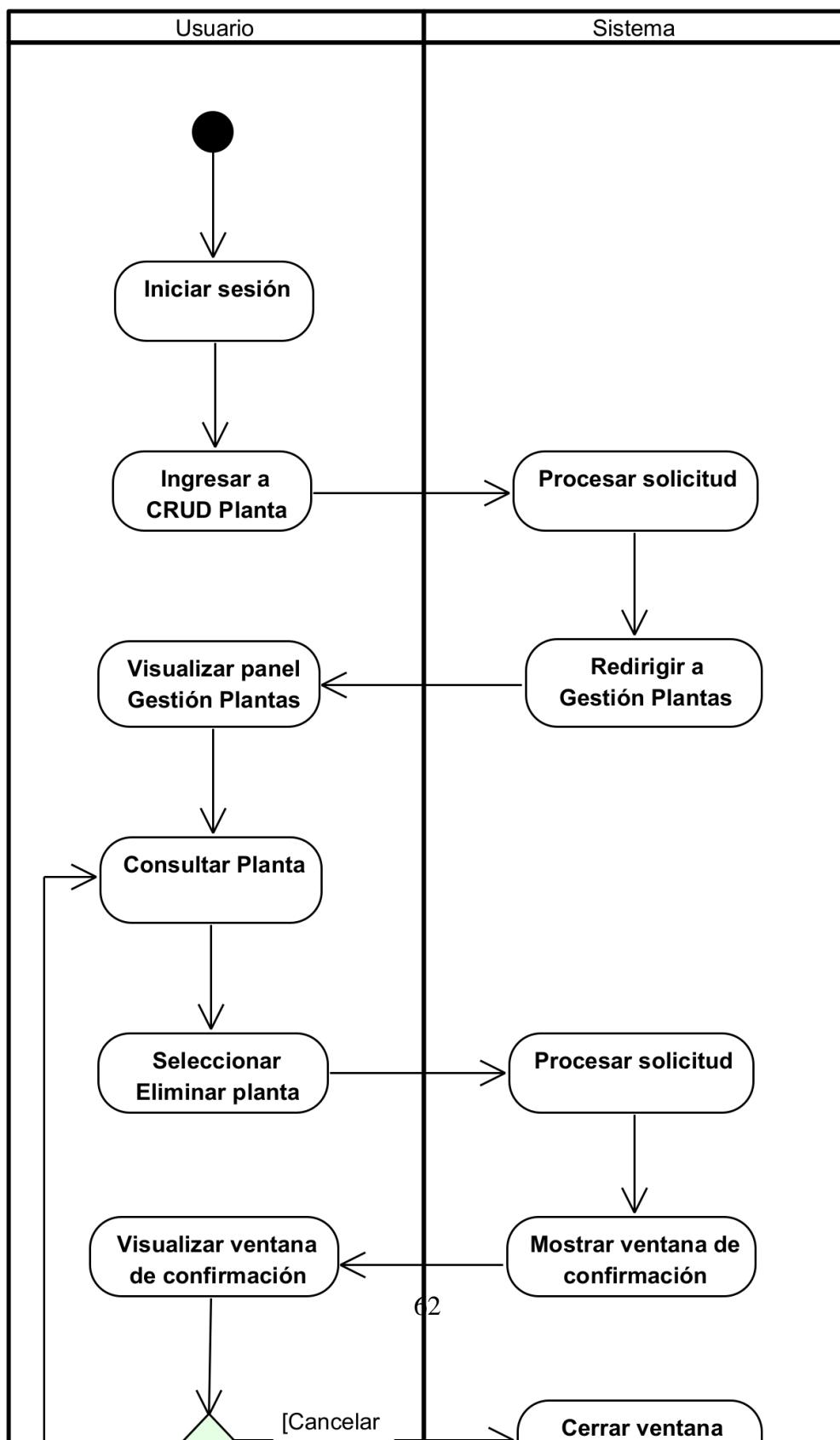


Figura 62

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

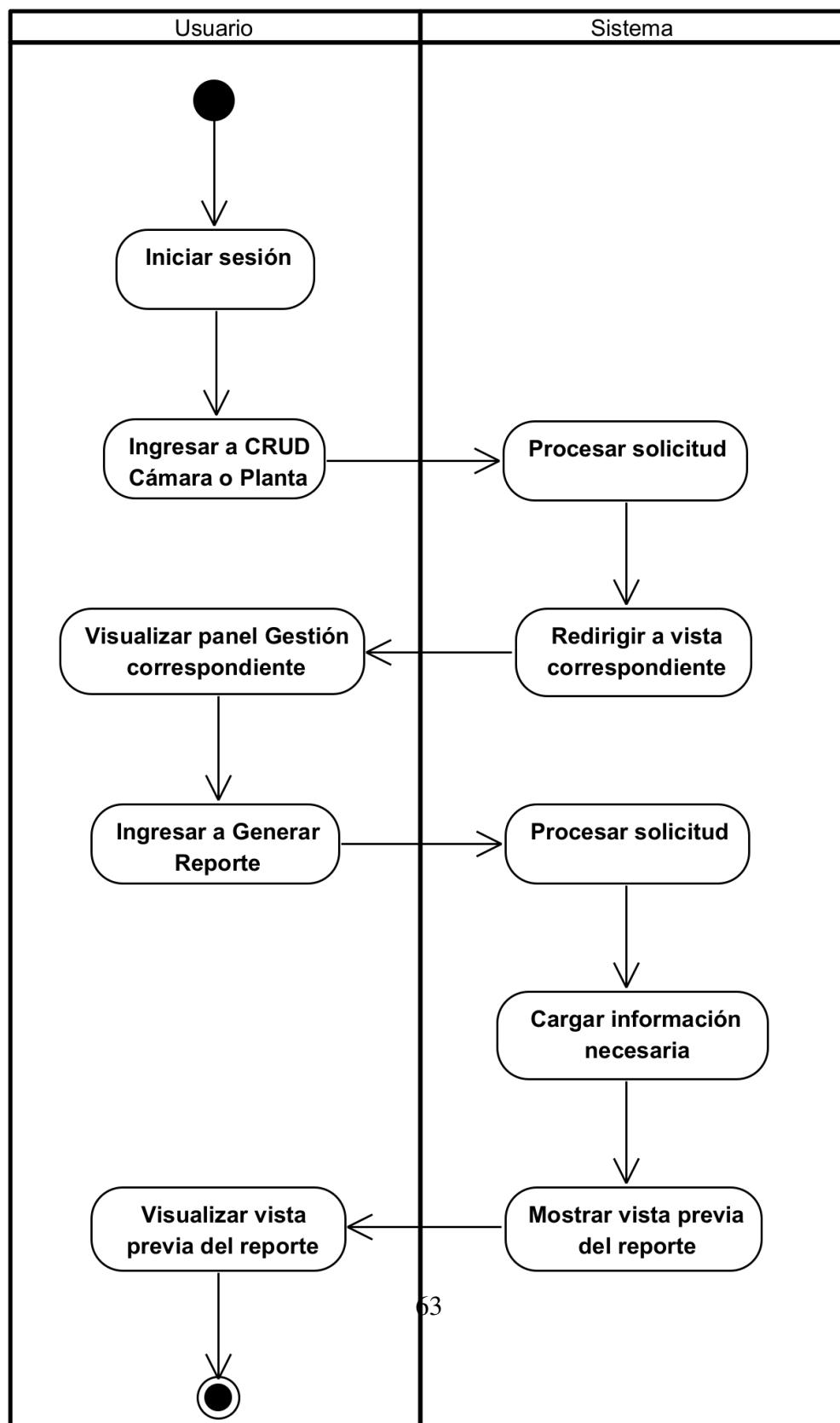


Figura 63

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

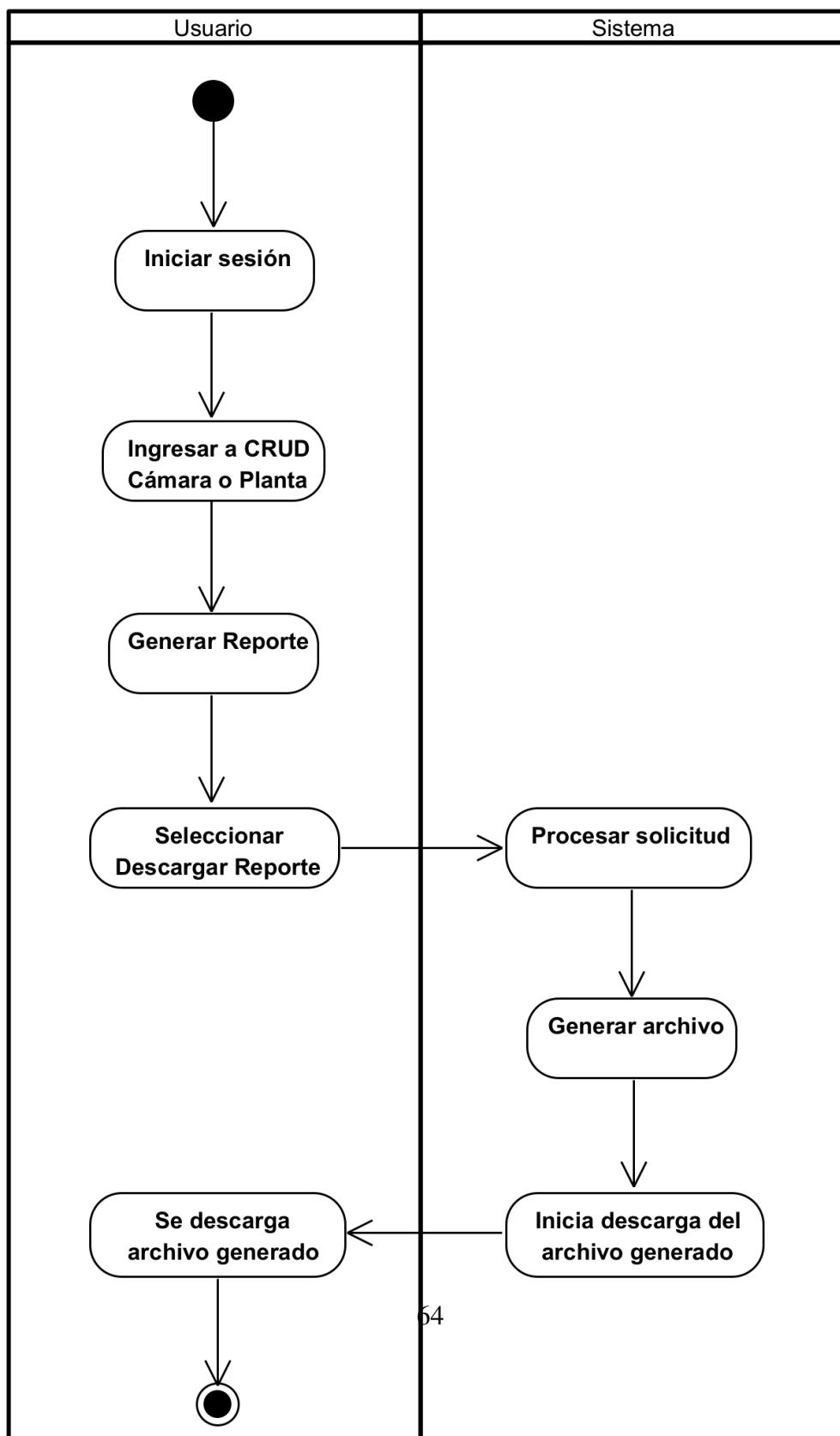


Figura 64

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

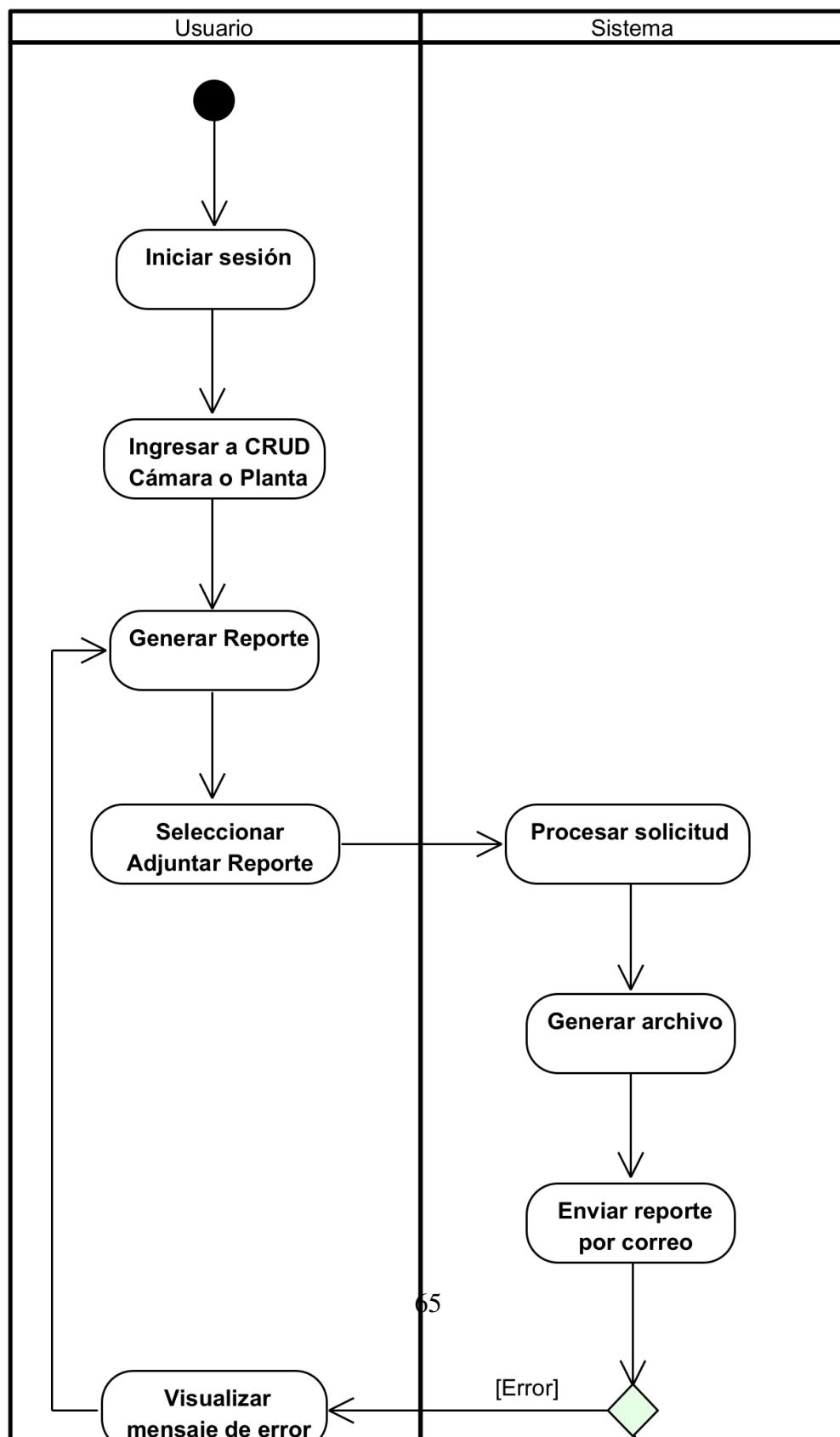


Figura 65

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

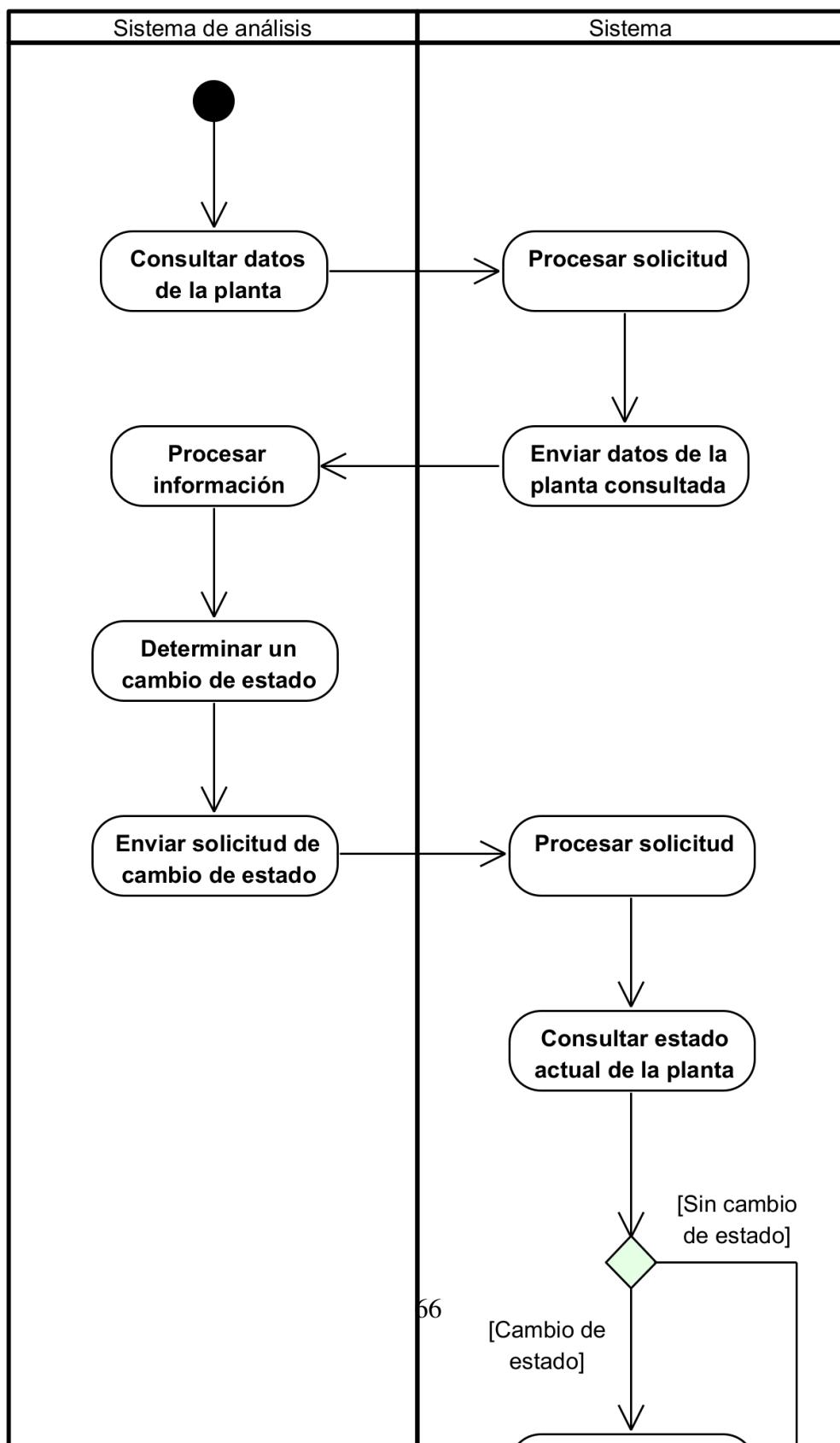


Figura 66

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

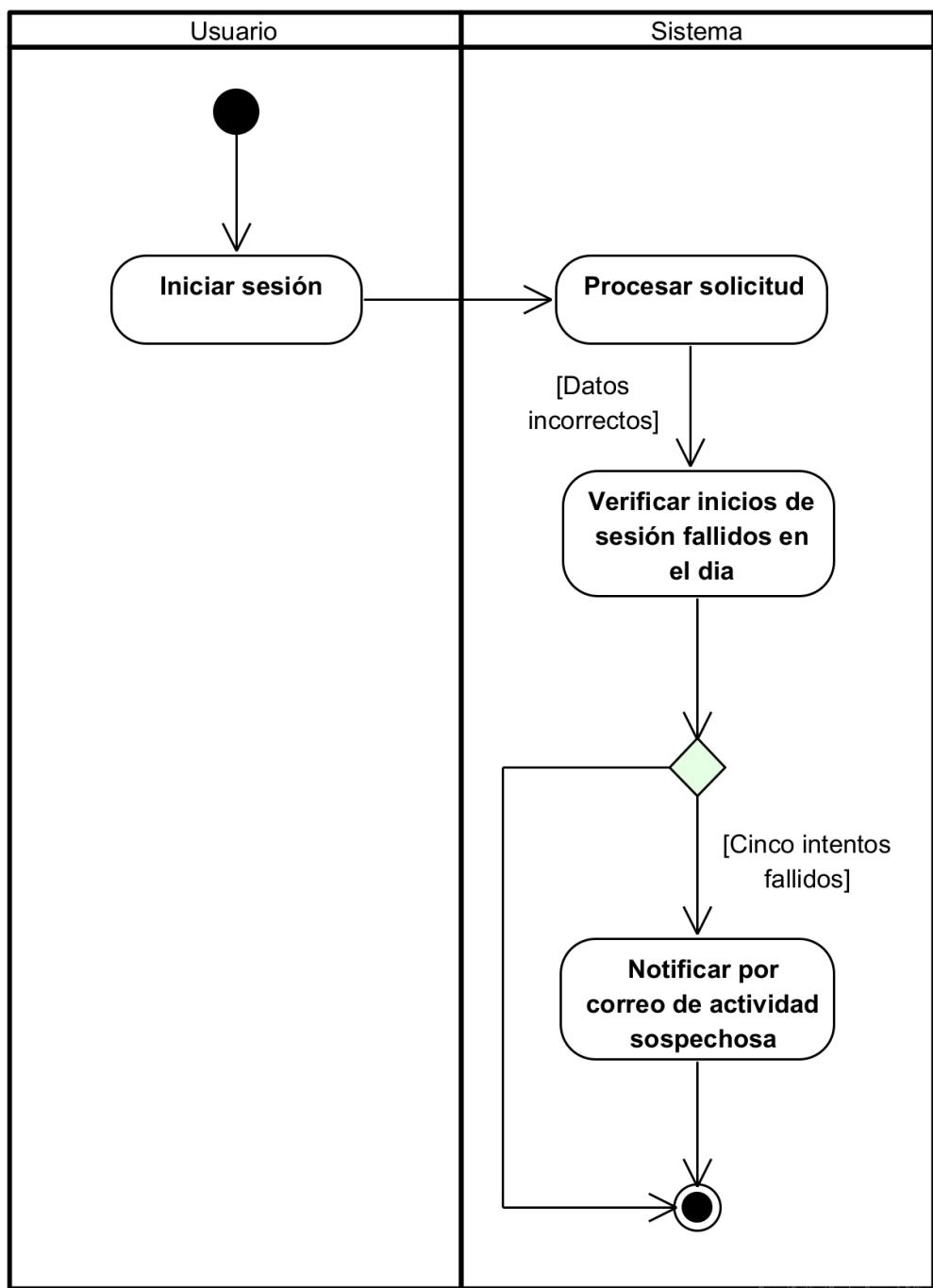


Figura 67

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

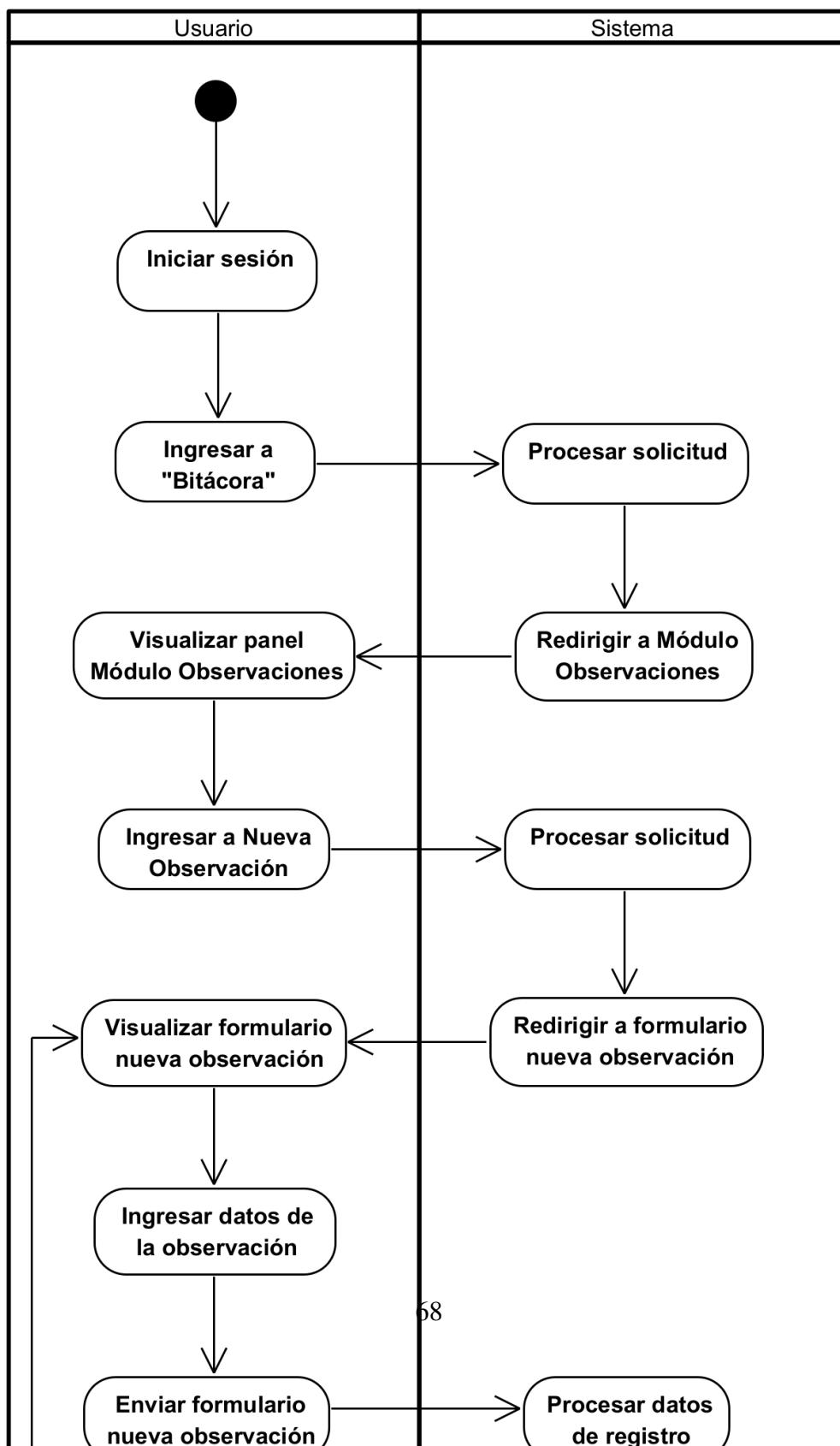
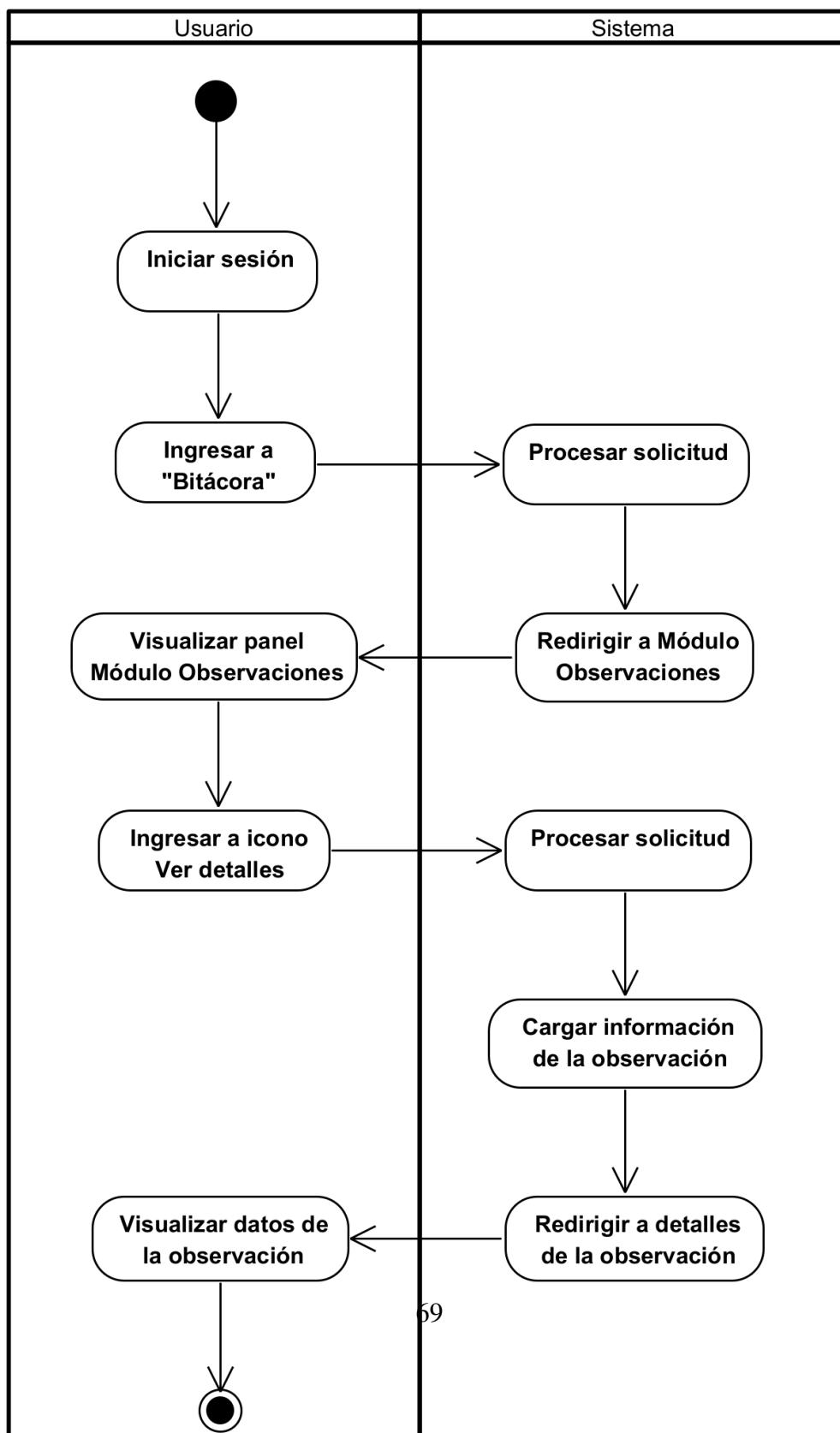


Figura 68

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



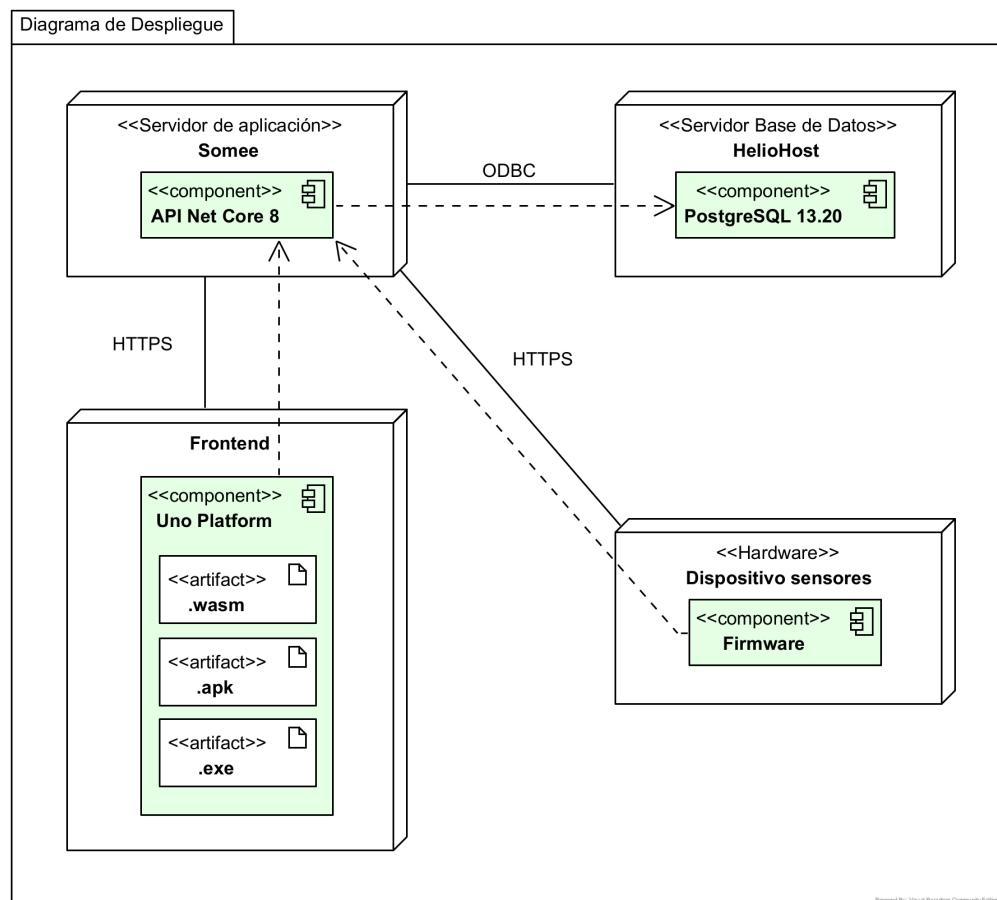
2.3.5. Diagrama de Clases

Incluir el diagrama con descripciones por cada clase.

2.3.6. Diagrama de Despliegue

Figura 69

Diagrama de Despliegue del Sistema.



2.4. Arquitectura del Software

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

2.4.1. Desarrollo del Frontend

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

2.4.2. 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.

2.4.3. 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.

2.5. 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 y Justificación del Hardware

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. Descripción de Componentes

3.2.1. Microcontrolador ESP32-S3-WROOM-1 N16R8

Descripción del microcontrolador y sus características principales.

3.2.2. Cámara termográfica MLX90640

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

3.2.3. Sensor de luz BH1750

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

3.2.4. Sensor de humedad y temperatura DHT22

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

3.2.5. Cámara RGB OV2640

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

3.2.6. Regulador de voltaje LM2596

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

3.3. 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.

3.3.1. 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.

3.3.2. 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.

3.3.3. 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.

3.4. 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.

3.5. Discusión

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 y Objetivos del Estudio Experimental

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. 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.

4.3. 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.

4.4. 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.

4.5. Resultados y Discusión

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. RESULTADOS Y CONCLUSIONES FINALES

5.1. Síntesis de Resultados

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.

5.2. 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.

5.3. 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