

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

SISTEMA MÓVIL PARA CUIDADO DE CULTIVOS DE CACAO

**Anexos de la Tesis para optar el título de Ingeniero
Mecatrónico que presenta el bachiller:**

Anthony Bacilio Ruiz

ASESOR: Francisco Fabián Cuellar Córdoba

Lima, Diciembre del 2017

Índice

A Concepto optimo obtenido con la metodología de diseño mecatrónico	2
B Memoria de cálculos para el diseño electrónico	14
C Memoria de cálculos para el diseño mecánico	20
D Entrenamiento y selección del modelo de redes neuronales convolucionales	39
E Código del entrenamiento de los modelos de CNN para la detección de frutos de cacao y para el descarte de presencia de anomalías	46
F Imágenes de plantas de cacao donde se uso el sistema de detección de cacaos anómalos	57

Apéndice A

Concepto optimo obtenido con la metodología de diseño mecatrónico

A.1 Lista de Exigencias

La lista de exigencias se baso en los alcances explicados en la Introducción.

Tabla A.1: Lista de Exigencias(Fuente propia)

Lista de Exigencias			Rev. 10
Proyecto :		Robot Movil para cuidado del Cacao	Fecha:03/05/17/ Revision: F.C.C.
Nº	Necesidad	Descripción	Responsable:
1	Exigencia	Funcion Principal	A.B.R.
		El robot deberá monitorear cultivos de cacao y alertar la presencia de anomalías en los frutos de cacao	
2	Exigencia	Carga	A.B.R.
		La estructura móvil deberá poder cargar por lo menos 60 Kg	
3	Exigencia	Uso	A.B.R.
		Deberá poder usarse en terrenos con obstáculos no evitables de hasta 5 cm	
4	Exigencia	Fuerza	A.B.R.
		Deberá rociar objetos que estén hasta 2m de altura.	
5	Exigencia	Control	A.B.R.
		El sistema deberá de funcionar de manera semi-autónoma	
6	Exigencia	Electrónica	A.B.R.
		Deberá contar con sensores internos para la navegación autónoma.	
6	Exigencia	Energía	A.B.R.
		Deberá tener energía para monitorear por lo menos 60 árboles	
6	Exigencia	Electrónica	A.B.R.
		Deberá contar con sensores que le permitan observar frutos de hasta 2 metros sobre el suelo	

A.2 Estructura de funciones

Para Cumplir con esta lista de exigencias y realizar satisfactoriamente la función, se necesitará cumplir estas funciones básicas.

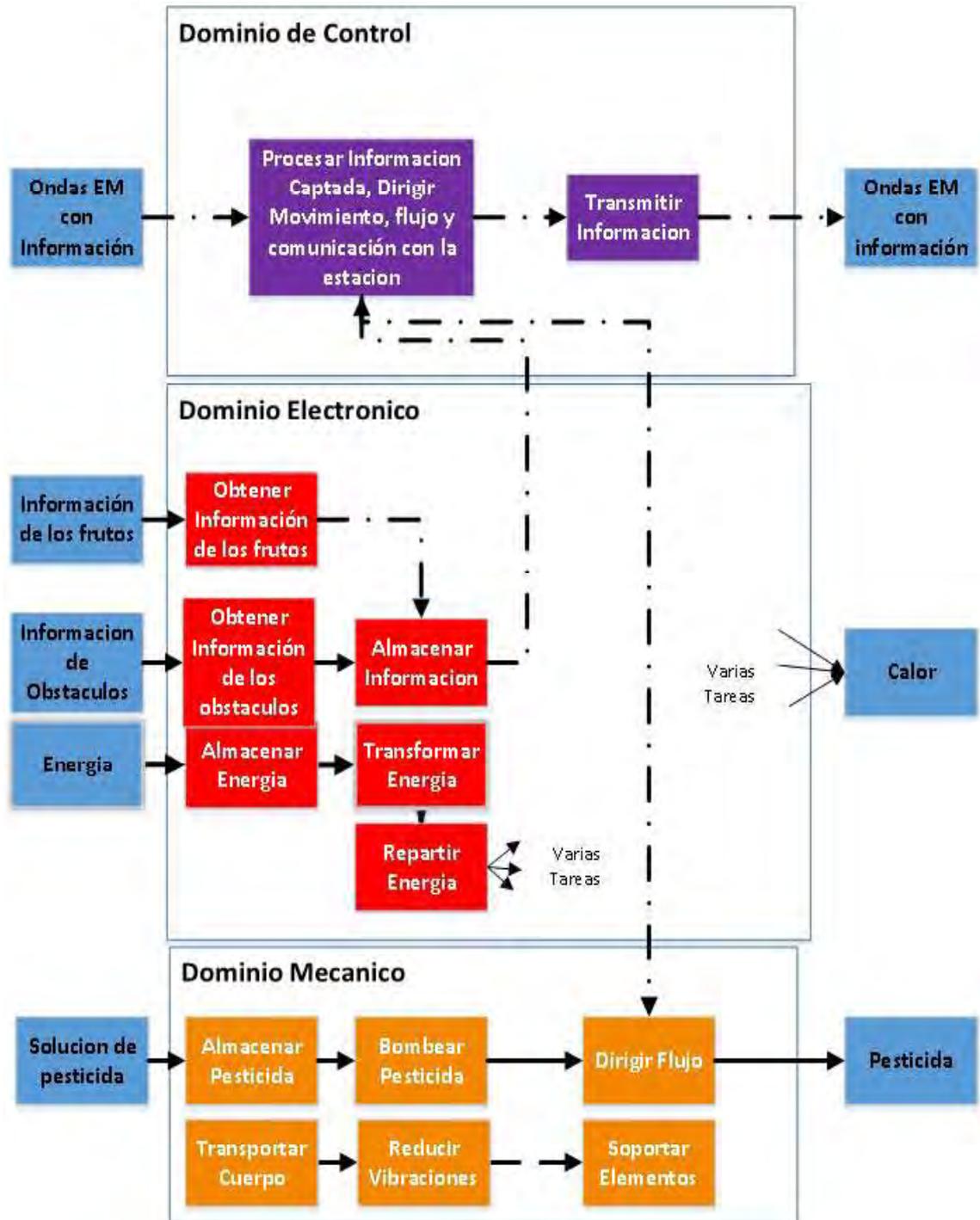


Figura A.1: Estructura de funciones del Proyecto (Fuente propia)

A.3 Matriz morfológica

Para poder cumplir cada función se necesita usar ciertos dispositivos pero existen varias tecnologías para cada función. Por otro lado, en esta tabla no se incluye la tarea de repartir energía ya que se realiza con borneras que aunque pueden haber diferentes modelos no son opciones muy diferentes. Asimismo no se incluye tareas que pueden darse como resultado de la integración de los elementos, ya que serían funciones específicas de cada solución.

Tabla A.2: Matriz morfológica (Fuente propia)

Dominio Mecanico			
Función	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Transportar el cuerpo móvil y soportar elementos	Vehículo terrestre a ruedas	Vehículo terrestre a Patas	UAV Copter o de ala fija
Reducir vibraciones	Resortes	Pistón neumático	Neumaticos
Almacenar Pesticida	Tanque Metálico	Tanque de Plástico	
Bombear Pesticida	Bomba centrífuga, diafragma, etc.	Atomizador a presión	
Dirigir Flujo	Servo motores	Columna eléctrica	Brazo robótico
Dominio electronico			
Función	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Obtener Información de los frutos	Cámara digital/analógica convencional	Cámara espectral	
Obtener Información de los obstáculos	LIDAR	Cámaras	Ultrasonido
Almacenar energía	Batería LiFePo	Batería Ni-CD	Batería Li-Po
Transformar Energía	Convertor DC-DC	BEC	ESC
Transmitir información	Radio Frecuencia	Wi-Fi	Bluetooth
Dominio de Control			
Función	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Procesar Información Captada,Dirigir movimiento,flujo y comunicación con la estación	PC mainboard	One board PC	Micro controladores de gama baja

A.3.1 Simplificación de Matriz morfológica

Si se analiza la factibilidad de usar los elementos de la matriz morfológica en la tabla A.2 para satisfacer las exigencias de la lista de exigencias en la tabla A.1, se puede descartar algunas elementos por diferentes motivos.

Respecto al dominio Mecánico, para empezar, el uso de un UAV copter quedaría descartado, ya que el viento originado por las hélices interrumpiría la irrigación y las hojas no permitirían que se observe los frutos. La incapacidad de captura de imágenes desde el aire afectaría también a los UAVs de ala fija. Por otro lado, la movilización a patas esta aún en un desarrollo y se ha utilizado en tareas donde se requiera precisión de movimiento y sobrepasar territorio muy abrupto como por ejemplo en [43]; debido a esto, aunque ayudaría en el desplazamiento del sistema, aumentaría mucho el costo de este y sería mejor descartarlo.

De manera semejante, en el dominio electrónico, como se observó en la introducción los campos de cultivo de cacao, estos no tienen muchos obstáculos por lo que el uso de un LIDAR o una cámara podrían aumentar el costo innecesariamente y sería más recomendable el uso de sensores de ultrasonido. Asimismo, en la tarea de obtener información de los frutos de cacao, aunque el uso de una cámara espectral facilitaría el desarrollo de la tarea, también elevaría los costos por lo que sería mejor intentar primero con el procesamiento de imágenes y en una cámara digital; y luego, si no es posible, usar la cámara espectral. Acerca de la tarea de almacenar energía debido a la cantidad de elementos que se están utilizando y la relación capacidad/tamaño sería más conveniente el uso de Baterías LiFePo que las demás; por lo cual, se descartarían. Por otra parte, en la tarea de transformar energía, dependiendo del elemento a alimentar se debería usar cada uno de estos así que sería propio de cada solución. De manera semejante para la tarea de comunicación, se descartaría el bluetooth por el poco ancho de banda que posee para la transmisión de video y se descartaría la comunicación por radio frecuencia; ya que, aunque se puede comunicar ordenes y videos a largas distancias, se necesitaría dos antenas para esto; sin embargo con el uso de WI-FI de larga distancia, solo se necesitaría una y disminuiría el peligro por interferencia.

Por último, debido a que se necesita procesamiento de imágenes y el manejo de Wi-Fi, se descartaría el uso de solamente micro controladores de gama baja y solo tarjetas de prototipado y se necesitaría por lo menos un One board PC con controladores adicionales si fuera necesario.

En conclusión, la Matriz morfológica cambiaría a la siguiente en la tabla A.3.

Tabla A.3: Matriz morfológica mejorada (Fuente propia)

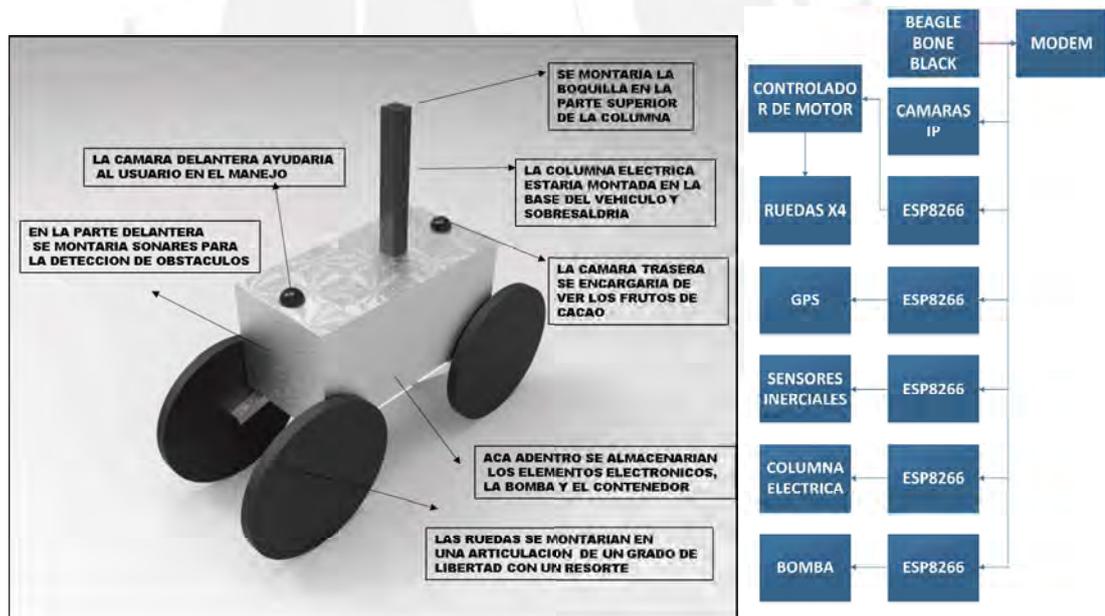
Dominio Mecanico	
Función	Opción optima
Transportar el cuerpo móvil y soportar elementos	Vehículo terrestre a ruedas
Reducir vibraciones	Resortes, pistón neumático y/o neumáticos a presión
Almacenar Pesticida	Tanque plástico
Bombear Pesticida	Bomba centrifuga, diafragma, etc.
Dirigir Flujo	Columna eléctrica, Servo motores ; brazo robótico.
Dominio electrónico	
Función	Opción optima
Obtener Información de los frutos	Cámara digital/analógica convencional
Obtener Información de los obstáculos	Ultrasonido y cámara si es necesario
Almacenar energía	Batería LiFePo
Transformar Energía	Conversor DC-DC/ BEC/ ESC
Transmitir información	Wi-Fi
Dominio de Control	
Función	Opción optima
Procesar Información Captada,Dirigir movimiento,flujo y comunicación con la estación	PC board y controladores adicionales

A.4 Conceptos de Solución

Ahora usando los elementos para cumplir cada función se puede obtener aún varias soluciones. Esto se debe que a pesar de ser solo una opción por función, esta opción puede ser diferentes dispositivos o combinación de estos.

A.4.1 Concepto de Solución 1

A continuación se presentará las características de este concepto. Esta basado en el One board PC Beaglebone black, el cual puede hacer uso del sistema operativo Linux para el manejo de las cámaras y la detección de enfermedades. Por otro lado, para el riego utiliza una bomba y una columna eléctrica. Asimismo para el desplazamiento usa ruedas con motor incorporado y suspensión a resorte. En la figura A.2a, se puede observar una ilustración de este concepto y en la figura A.2b, se puede observar los elementos electrónicos representativos usados.



(a) Concepto 1(Fuente: propia)

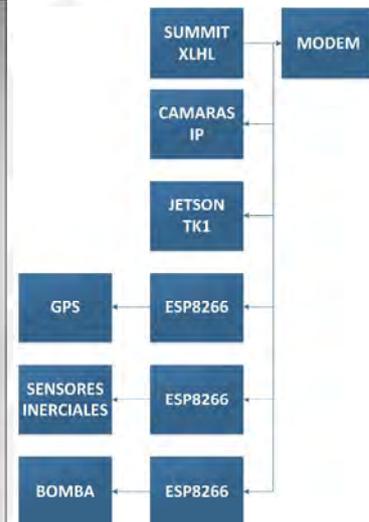
(b) Diagrama electrónico del concepto 1 (Fuente: propia)

A.4.2 Concepto de Solución 2

A continuación se mostraran las particularidades de este concepto. Para el desplazamiento, se utiliza el vehículo Summit XLHL en el cual cuenta con una suspensión a pistón neumático. Este cuenta con una computadora interna pero se le piensa añadir un módulo Jetson TK1 para que haga uso del procesamiento de imágenes. Para el sistema de irrigación, se decidió usar una bomba de mayor potencia e irrigar sin levantar las boquilla y usar una boquilla más grande para irrigar. Por otro lado, usa solo una cámara, la cual puede girar para poder capturar imágenes del frente y de la planta de cacao. En la figura A.3a, se puede observar una ilustración de este concepto y en la figura A.3b, se puede observar los elementos electrónicos representativos usados.



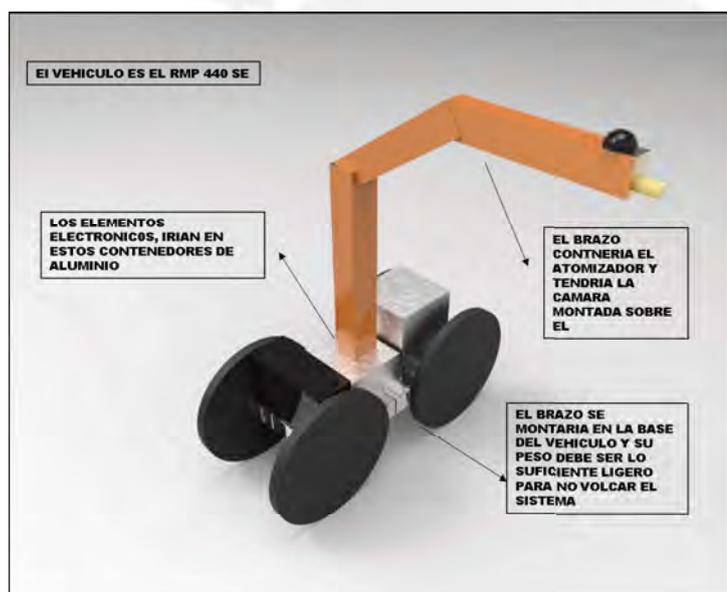
(a) Concepto 1(Fuente: propia)



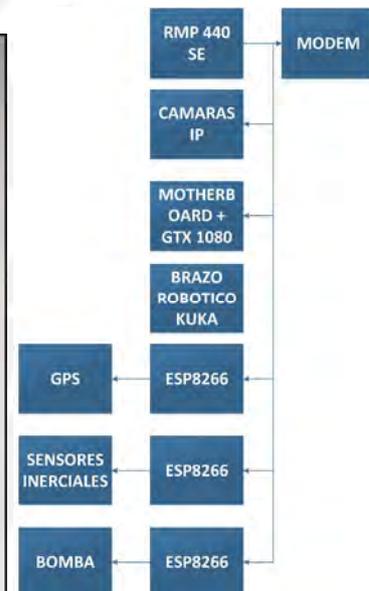
(b) Diagrama electrónico del concepto 1 (Fuente: propia)

A.4.3 Concepto de Solución 3

Este concepto se basa en el uso del vehículo RMP 440 SE, el cual usa neumáticos para aguantar las deformaciones del suelo. Los componentes electrónicos se montarían sobre el y se cubrirían con cubiertas de aluminio. Para el riego, se usaría un brazo KUKA de 3 grados de libertad con el cual se podría regar con un un atomizador sin necesidad de una bomba sino con la presión generada por el extremo del actuador. además, tendrá la cámara montada al extremo del brazo para que pueda observar todo lo que esta alrededor con mayor libertad. Por otro lado, utilizaría una mainboard con una tarjeta gráfica dedicada para el procesamiento de imágenes. En la figura A.4a, se puede observar una ilustración de este concepto y en la figura A.4b, se puede observar los elementos electrónicos representativos usados.



(a) Concepto 1(Fuente propia)



(b) Diagrama electrónico del concepto 1 (Fuente propia)

A.5 Evaluación Técnica-Económica

Entonces para obtener la solución óptima, es necesario realizar una evaluación técnica-económica de todas las soluciones; la cual se muestra en la tablas A.4 y A.5 y la figura A.5. Donde se puede observar que las soluciones no están cerca del punto óptimo 1,1. Por lo tanto es necesario hallar una solución mejor combinando los elementos de estas soluciones.

Tabla A.4: Evaluación técnica de los conceptos de solución (Fuente propia)

Evaluación Técnica				
Aspecto	Factor	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3
Tiempo de vida	1	0.8	0.9	0.9
Rapidez de funcionamiento	0.9	0.7	0.5	1
Facilidad de manejo	1	0.8	0.9	0.6
Calidad de trabajo	0.8	0.7	0.8	0.9
Estabilidad	1	0.7	0.7	0.9
Transportabilidad	0.8	0.8	0.8	0.8
Eficiencia de consumo de energía	0.8	0.6	0.7	0.7
Facilidad de desplazamiento en terreno irregular	1	0.7	0.6	0.9
Facilidad de montaje	0.8	0.9	0.8	0.6
Cumplimiento de lista de exigencias	1	1	1	1
Resultado ponderado por solución		0.77	0.77	0.84

Tabla A.5: Evaluación económica de los conceptos de solución (Fuente propia)

Evaluación Técnica				
Aspecto	Factor	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3
Costo de producción	0.9	0.8	0.5	0.2
Costo de la tecnología	0.9	0.7	0.45	0.4
Disponibilidad en Perú	0.9	0.8	0.6	0.5
Costo de operaciones	0.9	0.7	0.9	0.9
Costo de mantenimiento	0.7	0.8	0.6	0.6
Resultado ponderado por solución		0.76	0.61	0.52

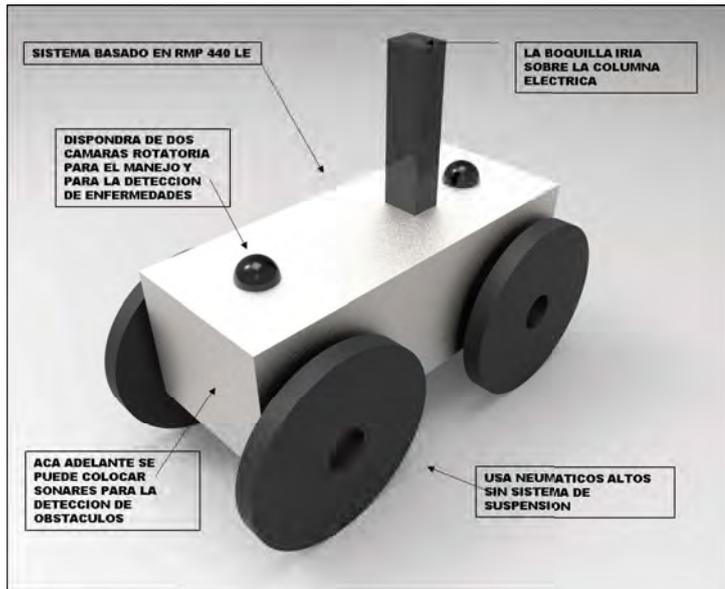


Figura A.5: Evaluación técnica y económica (Fuente propia)

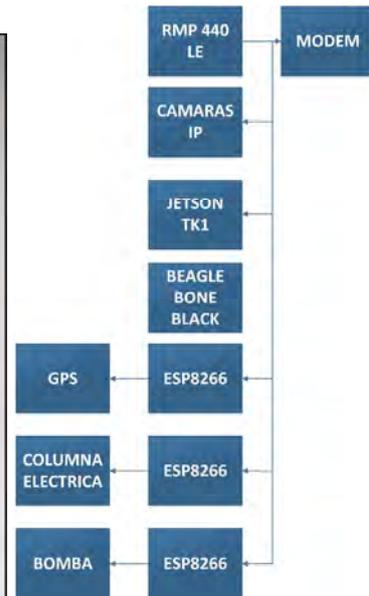
A.6 Concepto Optimo

En la figuras A.6a y A.6b se puede observar el concepto optimo formado por la unión de los mejores elementos de los otros tres conceptos de solución.

Este esta basado en una versión más grande que el RMP 440 SE del tercer concepto, el cual cubre los elementos electrónicos como el primer concepto. además, tiene mayor capacidad de movimiento y cuenta con un controlador interno con sensores inerciales. Por otro lado, ese concepto utilizara el Jetson tk1 y el beaglebone black para el procesamiento de imágenes y control del vehículo. además, utilizara dos cámaras para el manejo y búsqueda de enfermedades en las plantas de cacao. Entonces, si se evalúa económica y técnicamente respecto a las otras soluciones se puede observaren las tablas A.6 y A.7 y la figura A.7, que aunque no esta cerca al eje de equilibrio si esta más cerca que las otras soluciones al punto optimo 1,1. En conclusión, se tomaría este concepto para elaborar el diseño del sistema móvil para el cuidado de cultivos de cacao.



(a) Concepto 1(Fuente propia)



(b) Diagrama electrónico del concepto 1 (Fuente propia)

Tabla A.6: Evaluación técnica de los conceptos de Solución (Fuente propia)

Evaluación Técnica					
Aspecto	Factor	Solucion 1	Solución	Solución 3	Solución Optima
Tiempo de vida	1	0.8	0.9	0.9	1
Rapidez de funcionamiento	0.9	0.7	0.5	1	1
Facilidad de manejo	1	0.8	0.9	0.6	0.9
Calidad de trabajo	0.8	0.5	0.8	0.9	0.8
Estabilidad	1	0.7	0.7	0.9	0.9
Transportabilidad	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Eficiencia de consumo de energía	0.8	0.6	0.7	0.7	0.7
Facilidad de desplazamiento en terreno irregular	1	0.7	0.6	0.9	0.9
Facilidad de montaje	0.8	0.9	0.8	0.6	0.8
Cumplimiento de lista de exigencias	1	1	1	1	1
Resultado ponderado por solución		0.75	0.77	0.84	0.89

Tabla A.7: Evaluación económica de los conceptos de solución

Evaluación Técnica					
Aspecto	Factor	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución Óptima
Costo de producción	0.9	0.8	0.5	0.2	0.7
Costo de la tecnología	0.9	0.7	0.45	0.4	0.6
Disponibilidad en Perú	0.9	0.8	0.6	0.5	0.7
Costo de operaciones	0.9	0.7	0.9	0.9	0.9
Costo de mantenimiento	0.7	0.8	0.6	0.6	0.7
Resultado ponderado por solución		0.76	0.61	0.52	0.72

Evaluación técnica-económica

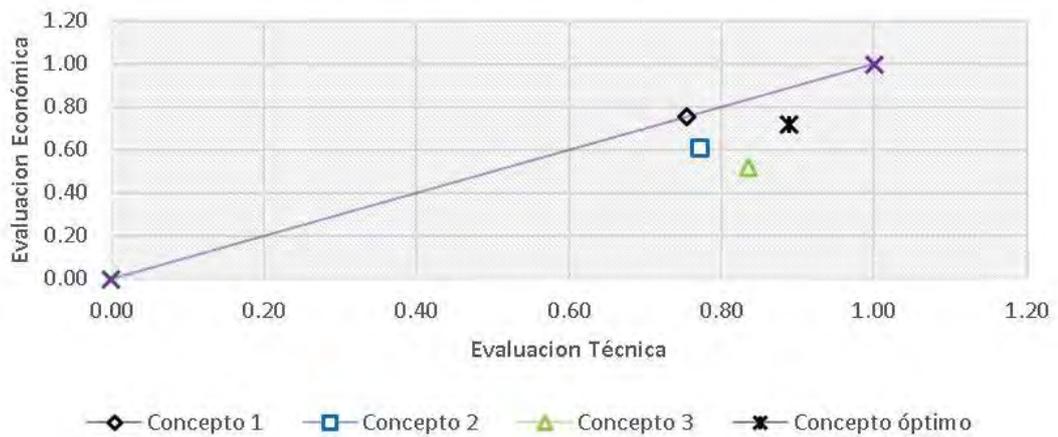


Figura A.7: Evaluación técnica y económica (Fuente propia)

Apéndice B

Memoria de cálculos para el diseño electrónico

B.1 Cálculo de la necesidad energética del sistema móvil

Para calcular la necesidad de energía del vehículo para la operación, es necesario obtener el consumo de cada uno de sus componentes. Sin embargo, unos componentes se usan constantemente y otros no. Debido a esto se ha separado el cálculo en el consumo por los componentes electrónicos de uso constante, el consumo del sistema de la columna eléctrica, el consumo de la bomba y el consumo en el desplazamiento.

B.1.1 Costo de energía de elementos de uso constante

Para empezar, en la tabla B.1, se puede observar el consumo de cada elemento electrónico y el consumo total que se efectuaría en dos horas.

Tabla B.1: Consumo de elementos (Fuente propia)

Consumo de energía de los elementos.				
Elemento	Cantidad	Voltaje(V)	Corriente(A)	Potencia Total(W)
Jetson tk1	1	12	0.25 a 4.8	3 a 57.6
BeagleBoneBlack	1	5	0.216 a 0.46	1.08 a 2.3
GPS	1	3.3	0.02 a 0.02	0.066
ESP8266 12F	3	3.3	0.08	2.64
ESP8266 12E	2	3.3	0.08	2.64
POLOLU G2 2421	2	3.3	0.8	2.64
Multiplexor	1	3.3	0.02	0.066
Camaras	2	12	0.417	5
MaxSonar	4	3.3	0.02	0.066
Router	1	12	1	12
Antena	1	12	1	12
Potencia Total(W)			45.084 a 100.904	
Consumo en 2 horas (en Wh)			90.168 a 201.808	

Entonces, el consumo máximo total de estos dispositivos (E_e) es 201.808Wh.

B.1.2 Consumo de energía de la columna

Para obtener el consumo de energía de la columna se considero que el numero de posiciones desde donde se irriga cada árbol es 4. además se necesita saber el tiempo de un ciclo de desplazamiento (subir y bajar) de la columna; lo cual se puede obtener usando la velocidad de la columna y su longitud. Entonces, si se obtiene información de la cantidad de árboles, de la sección ; la potencia máxima de la columna, de la tabla 2.12; el tiempo de un ciclo y el número de posiciones, se puede calcular la energía necesaria como se muestra en la ecuación B.1.

$$t = 2 \frac{L}{C_c}$$
$$E_c = nPt n_p$$
(B.1)

C_c = Velocidad de desplazamiento de la columna (0.038 m/s)

L = Longitud de la columna (1m)

t = Tiempo necesario para un ciclo de desplazamiento de la columna (13 s)

n = Número de árboles a irrigar por sesión (60)

P = Potencia máxima que consume la columna (48W)

n_p = Número de posiciones a irrigar por árbol(4)

E_c = Energía hallada que utiliza la columna (168.42 Wh)

B.1.3 Consumo de energía de la bomba

Para obtener el consumo de energía total que consume la bomba en una sesión de operación es necesario calcular el tiempo de riego por árbol, lo cual se puede obtener dividiendo el caudal de la bomba en la cantidad necesaria a irrigar. Entonces si se sabe el caudal de la bomba, del anexo C.1; el volumen necesario a irrigar por árbol, de la sección 1.2.1; la potencia que consume la bomba, de la tabla 2.13; el número de árboles , de la sección y el tiempo de riego se podría obtener el consumo de energía de la bomba como se muestra en la ecuación B.2.

$$t = \frac{V_a}{\dot{V}}$$
$$E_b = nPt$$
(B.2)

\dot{V} = Caudal otorgado por la bomba (12.82 GPH)

V_a = Volumen necesario por árbol(175 ml)

t = Tiempo necesario para irrigar por árbol obtenido (13 s)

n = Número de árboles a irrigar por sesión (60)

P = Potencia máxima que consume la bomba (312W)

E_b = Energía obtenida que utiliza la bomba (67.6 Wh)

B.1.4 Consumo de energía del desplazamiento

Para obtener el consumo que utilizaría el vehículo RMP440 LE, se puede utilizar las formulas mostradas en el manual de usuario [41]mostradas en la serie de ecuaciones B.3. En estas, se puede observar la potencia consumida del vehículo al avanzar en linea recta y al moverse en círculos sin carga adicional y con una carga adicional especifica.

$$W_{vacio} = 29.38p^{-0.16}v^{1.137}$$

$$W_{400lb} = 96p^{-0.5}v^{1.1}$$

$$W_{cvacio} = (215v + 145)r^{-0.96}$$

$$W_{c100lb} = (410v + 364)r^{-1.04}$$

(B.3)

W_{vacio} = Potencia utilizada al avanzar en linea recta sin carga

W_{400lb} = Potencia utilizada al avanzar en linea recta con una carga de 400lb

p = Presión en las ruedas del vehículo en psi (6 psi)

v = Velocidad del vehículo (1 m/s)

W_{cvacio} = Potencia utilizada al avanzar en curvas sin carga

W_{c100lb} = Potencia utilizada al avanzar en curvas con una carga de 100lb

r = Radio de la circunferencia de la curva (en este caso 1.5m)

Entonces si se usa las formulas anteriores y aproximación lineal, se puede hallar el consumo de potencia para el caso del sistema móvil que es con una carga de 60 Kg como se muestra en las ecuaciones B.4.

$$W_{sm} = (M_{sm} - 400lb) \frac{W_{400lb} - W_{vacio}}{400lb} + W_{vacio}$$

$$W_{Csm} = (M_{sm} - 100lb) \frac{W_{c100lb} - W_{cvacio}}{100lb} + W_{cvacio}$$

(B.4)

M_{sm} = Masa de la carga propuesta (60kg o 132.2lb)

W_{sm} = Potencia hallada que se consume al desplazarse en línea recta(27.71 W)

W_{csm} = Potencia hallada que se consume al desplazarse en curvas(591.28 W)

Ahora es necesario hallar el tiempo necesario de desplazamiento. Para esto fue necesario tomar en cuenta la velocidad, la cual fue propuesta como $1m/s$; que el vehículo se desplaza una circunferencia de radio 1.5m alrededor de cada árbol (ya que entre árbol y árbol hay 3m) y que se desplaza una distancia de 3m para llegar al siguiente árbol. Entonces si se conoce, la distancia en rectas y curvas que recorre por árbol y la velocidad, se puede hallar el tiempo que el vehículo se desplaza en curvas y rectas como se observa en las ecuaciones B.5.

$$\begin{aligned}t_r &= n \frac{3}{v} \\t_c &= n \frac{2(1.5\pi)}{v}\end{aligned}\tag{B.5}$$

n = Cantidad de árboles(60)

v = Velocidad del vehículo(1m/s)

t_r = Tiempo total usado en rectas(180s)

t_c = Tiempo total usado en curvas(565.5s)

Finalmente con el tiempo y el consumo de potencia del vehículo hallado se puede hallar que el consumo de energía en un ciclo de operación para el sistema móvil (E_d) es $188.53Wh$ con la ecuación B.6

$$E_d = t_r W_{sm} + t_c W_{csm}\tag{B.6}$$

B.1.5 Consumo de energía total

Tomando en consideración los cálculos realizados anteriormente, se puede hallar el consumo total del sistema móvil en un ciclo de operación (E_t) es $626.36Wh$ con la ecuación B.7. Además, con esto se demuestra que la batería que posee el vehículo es suficiente para energizar el sistema móvil en toda la operación ya que el consumo es menor a lo que posee la batería(1900Wh)

$$E_t = E_d + E_b + E_c + E_e\tag{B.7}$$

B.2 Corriente máxima por fusible

Para calcular la corriente máxima por fusible es necesario saber el consumo de corriente de cada elemento conectado a cada fusible. Para eso usamos el diagrama mostrado en la figura B.1.

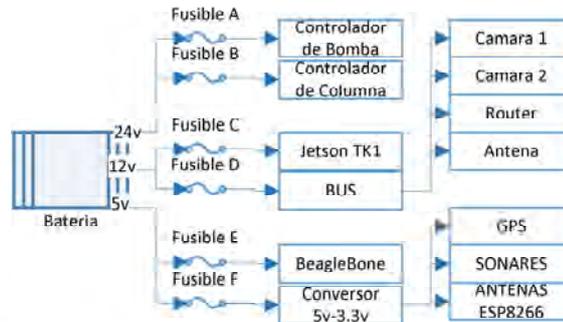


Figura B.1: Diagrama de conexión del sistema de distribución de energía(Fuente propia)

Luego usando el consumo de de corriente por dispositivo de la tabla B.2, se puede obtener el consumo por fusible. Cabe mencionar que los fusibles se presenta para los siguientes amperes: 1A, 2A, 3A, 5A, 7.5A, 10A, 15A, 20A, etc.

Tabla B.2: Consumo de elementos (Fuente propia)

Consumo de energía de los elementos.				
Elemento	Cantidad	Fusible	Corriente(A)	Corriente máxima normal por fusible(A)
Bomba y controlador	1	A	13.8	13.8
Columna y controlador	1	B	2.8	2.8
Jetson Tk1	1	C	0.25 a 4.8	4.8
Cámaras	2	D	0.417	2.834
Router	1	D	1	
Antena	1	D	1	
BeagleBoneBlack	1	E	0.216 a 0.460	0.460
GPS	1	F	0.02 a 0.02	0.52
ESP8266 12F	3	F	0.08	
ESP8266 12E	2	F	0.08	
Multiplexor	1	F	0.02	
MaxSonar	4	F	0.02	

De este modo el límite por fusible sera el que se muestra en la figura B.2.

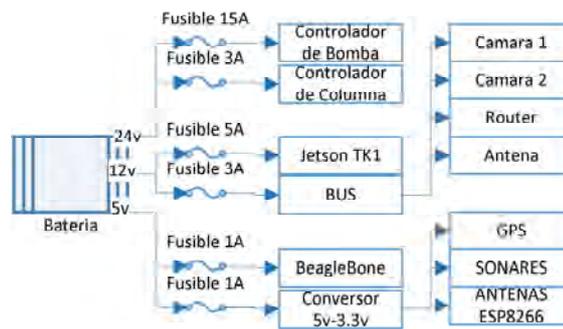


Figura B.2: Diagrama de conexión del sistema de distribución de energía(Fuente propia)



Apéndice C

Memoria de Cálculos para el diseño mecánico

C.1 Cálculo para la selección de la bomba

Para seleccionar una bomba es necesario saber el punto de operación del sistema. Para esto se tratara de hallar una expresión que relacione la presión de la bomba con el caudal del sistema. Entonces es importante saber que los elementos del sistema son los mostrados en la figura C.1.

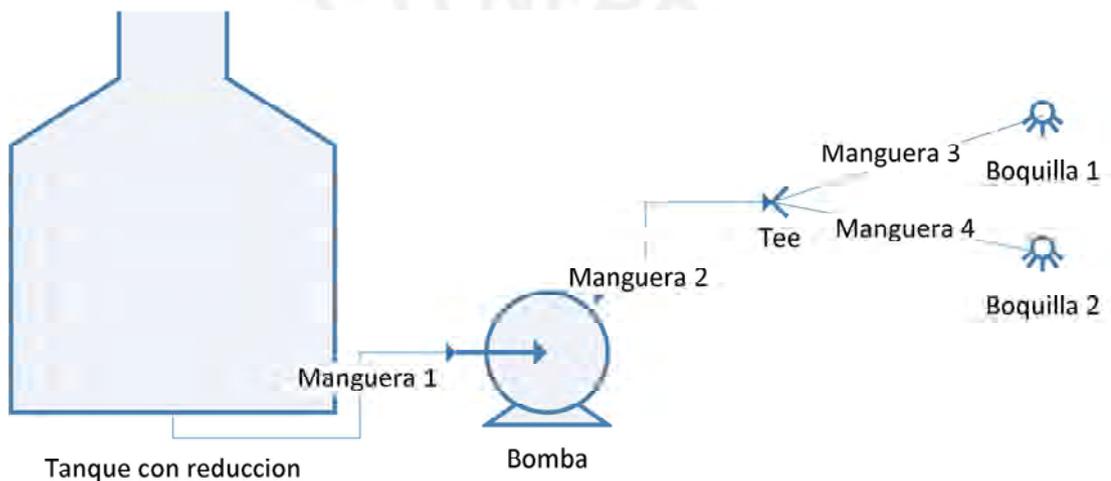


Figura C.1: (Diagrama de conexión del sistema de riego.(Fuente propia)

Para empezar se muestra la ecuación de energía con perdidas en la tubería en la ecuación C.1. Donde se ha pasado de trabajar con flujo másico a flujo volumétrico.

$$\sum_{n=1}^N \dot{m}_n (P_i / \rho + c_i^2 / 2 + gz_i) + \sum_{n_2=1}^{N_2} \dot{W}_{n_2} = \sum_{n=1}^N \dot{m}_n (P_f / \rho + c_f^2 / 2 + gz_f) + \sum_{n=1}^N \dot{m}_n e_v \quad (C.1)$$
$$\sum_{n=1}^N \dot{V}_n (P_i + \rho c_i^2 / 2 + \rho gz_i) + \sum_{n_2=1}^{N_2} \dot{V}_{n_2} P_t = \sum_{n=1}^N \dot{V}_n (P_f + \rho c_f^2 / 2 + \rho gz_f) + \sum_{n=1}^N \dot{V}_n e_x$$

\dot{m} = Flujo masico

\dot{V} = Caudal

ρ = Densidad del fluido

P_i, P_f = Presión inicial y final en Pa

c_i, c_f = Velocidad inicial y final en m/s

z_i, z_f = Altura inicial y final en m

g = Constante de gravedad ($9.81m/s^2$)

\dot{W}_{n_2} = Potencia ejercida de trabajo en W

V_t = Volumen que realiza o sobre quien se realiza trabajo

P_t = Presión generada o que se genera por el trabajo

e_x = Presión perdida

Luego se usa las variables de nuestro caso y se despeja la presión de la bomba. Cabe mencionar que existen dos salidas al sistema pero se considera que el caudal que sale en cada una es la mitad del caudal de entrada; debido a esto, se agrupan. De este modo se obtiene la ecuación C.2 que es de la bomba.

$$\begin{aligned}\dot{V}(P_i + \rho c_i^2/2 + gz_i) + \dot{V}P_b &= 2\left(\frac{\dot{V}}{2}(P_f + \rho c_f^2/2 + gz_f)\right) + 2\left(\frac{\dot{V}}{2}(Pp_d)\right) + \dot{V}Pp_a \\ P_i + \rho c_i^2/2 + gz_i + P_b &= P_f + \rho c_f^2/2 + gz_f + Pp_d + Pp_a \\ P_b &= P_f - P_i + \rho(c_f^2 - c_i^2)/2 + g(z_f - z_i) + Pp_d + Pp_a\end{aligned}\tag{C.2}$$

\dot{V} = Caudal del sistema

P_i, P_f = Presión inicial y final del sistema

c_i, c_f = Velocidad inicial y final del sistema

z_i, z_f = Altura inicial y final del sistema

P_b = Presión de la bomba

Pp_d = Presión de perdidas después del Tee

Pp_a = Presión de perdidas hasta el Tee

Después se debe tomar en consideración que las presiones inicial y final son la atmosférica; por lo tanto, se anulan. Asimismo, la velocidad del fluido al inicio (en el contenedor) es mucho menor a la de salida (en la boquilla); por lo tanto, se consideró cero. Por otro lado, la diferencia de alturas sera el tamaño de la columna (1.812m). Por último, la perdidas de presión dependerá del elemento.

De este modo la ecuación C.3 sería la nueva de la bomba.

$$P_b = \rho(c_f^2)/2 + g(z_c) + P_{pd} + P_{pa} \quad (C.3)$$

c_f = Velocidad final del sistema

z_c = Altura de la columna(1.812m)

P_b = Presión de la bomba

P_{pd} = Presión de perdidas después del Tee

P_{pa} = Presión de perdidas hasta el Tee

ρ = Densidad del agua(1E3kg/m³)

Ahora, es necesario el cálculo de estas variables para poder hallar P_b . Para esto se consideró que las perdidas en las boquillas serian la misma; asimismo las perdidas en las mangueras 3 y 4 que alimentan las boquilla serian la misma. Por lo tanto se muestra en la ecuación C.4 sus formulas.

$$c_f = \dot{V}/A_{sb}$$

$$P_{pa} = P_{pr} + P_{pm1} + P_{pm2} + P_{pt} \quad (C.4)$$

$$P_{pd} = 2P_{mb} + 2P_b$$

$$A_{sb} = \text{Área salida de la boquilla}(5.3E - 8m^2)$$

P_r = Perdida en la reducción

P_{m1}, P_{m2}, P_{mb} = Perdida en las mangueras 1,2 y la de las boquillas

Asimismo, cada una de las perdidas en accesorios tiene su forma de calcularse como se muestra en la ecuación C.5. Cabe mencionar que la constante de perdida para la reducción y el Tee se obtuvieron del libro de la ciencia de los termofluidos de Yunus Cengel [44]. Asimismo, la constante de perdida de la boquilla y la velocidad del fluido dentro y en la salida de la boquilla se obtiene de las presiones y caudales de prueba. Por último, es importante mencionar que el diámetro de todas las mangueras es el mismo.

$$P_{pr} = Kl_r \rho \frac{c_r^2}{2}$$

$$P_{pm} = f_1 \frac{L_m}{D_m} \rho \frac{c_m^2}{2}$$

$$P_{pb} = Kl_{b1} \rho \frac{V_{b1}^2}{2} \quad (C.5)$$

$$Kl_b = \frac{2Pt_b}{\rho \left(\frac{c_{tb}}{A_{pb}}\right)^2}$$

$$P_{pt} = Kl_t \rho \frac{c_t^2}{2}$$

- Kl_r = Constante de pérdida de presión en la reducción (1)
- Kl_b = Constante de pérdida de presión de la boquilla(0.03)
- P_{t_b} = Presión de prueba del catalogo de la boquilla (1.625E6Pa)
- \dot{V}_{t_b} = Caudal de prueba del catalogo de la boquilla (3.307E – 5m³/s)
- A_{p_b} = Área promedio de la boquilla(1.06E – 7m²)
- f_1, f_2 = Constante de fricción de Darcy para las mangueras (adimensional)
- L_m = Longitud de las mangueras
- L_1, L_2, L_{mb} = Longitud de las mangueras 1,2 y de las boquillas (1, 3 y 0.3m)
- D_m = Diámetro interno de las mangueras
- D_1, D_2, D_{mb} = Diámetro interno de las mangueras(0.00635m)
- Kl_t = Constante de pérdida en el Tee(2)
- c_x = Velocidad del fluido en el accesorio

Entonces, teniendo estas formulas se puede calcular las perdidas de presión en los elementos. Ahora es necesario hallar el valor de la constante de Darcy para resolver las perdidas en las mangueras. Para esto se usarán las aproximaciones mostradas en la ecuación C.6 donde una es para flujo laminar y otra para flujo turbulento.

$$f_l = 64/Re$$

$$1/f_t = -2.0 \log\left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f_t}}\right) \quad (C.6)$$

- f_l = Constante de Darcy aproximado para flujo laminar
- f_t = Ecuación de Colebrook para el flujo turbulento
- Re = Numero de Reynolds($Re = \frac{\rho V D}{\mu}$)
- ρ = Densidad del fluido(en Kg/m³)
- V = Velocidad del fluido(en m/s)
- D = Diametro del contenedor del flujo(en m)
- μ = Viscosidad dinámica del fluido(en Pa.s)
- ϵ = Aspereza (en m)

De este modo con el sistema modelado matemáticamente, se iteró diferentes modelos de bomba. Sin embargo, es importante saber que se iteró al mismo tiempo diferentes boquillas ya que es necesario tambien que el chorro alcance para irrigar el árbol de cacao; estos cálculos pueden observarse en la sección C.2. De estos cálculos se obtuvo la boquilla mostrada en la tabla 2.20 y cuyos datos se han ido mencionando.

Por último, cabe mencionar, ya que esta serie de ecuaciones no se puede despejar, se calculó la necesidad de presión para la bomba en cada punto de caudal hasta que llegue a un punto de operación válido para la bomba a probar (En caso no hubiese ese punto de operación, se cambiaría la bomba). Así se halló el punto de operación mostrado en la ecuación C.7 y en la figura C.2 se ve la presión ofrecida por la bomba y la curva de presión que necesita el sistema.

$$\begin{aligned} \text{Presión de operación} &= 6E6Pa \\ \text{Caudal de operación} &= 1.641614E - 5m^3/s = 0.983lpm \end{aligned} \tag{C.7}$$

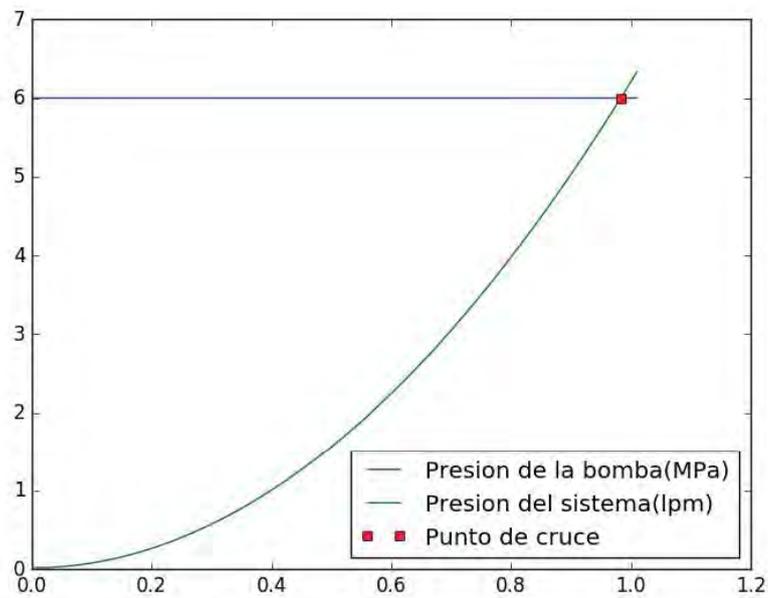


Figura C.2: Presión necesitada por el sistema(Fuente propia)

C.2 Cálculo del alcance del chorro

Para averiguar el alcance del chorro de aspersión es necesario saber lo siguiente. Para empezar es necesario conocer la velocidad de salida del chorro que se puede obtener con el caudal del sistema y el área de salida de la boquilla. Por otro lado, de la boquilla es necesario saber, el ángulo de montaje y el ángulo de la boquilla para saber la dirección del chorro. Sin embargo ya que son varios pequeños chorros que van juntos, se consideran solo algunos de los que están en los extremos de la circunferencia de la salida de la boquilla, por lo tanto sera necesario también el ángulo de la circunferencia externa. De esta forma se obtiene la ecuación C.8 de la velocidad del chorro donde se debe considerar los ejes propuestos en la figura C.3.

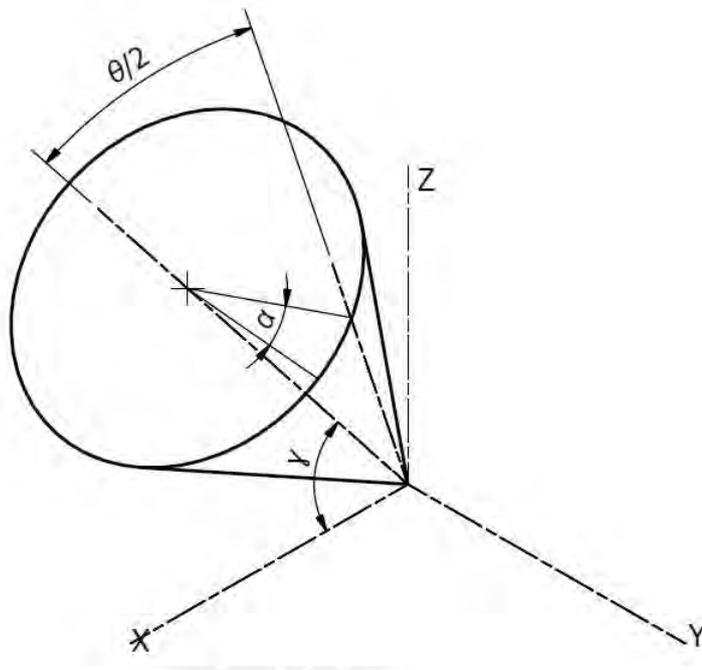


Figura C.3: Ángulos en la boquilla(Fuente propia)

$$|c| = \dot{V} / A_{sb}$$

$$\vec{c} = |c| [\cos(\theta/2) \cos(\gamma) - \sin(\theta/2) \sin(\gamma)], \sin(\theta/2) \cos(\alpha), \cos(\theta/2) \sin(\gamma) + \sin(\theta/2) \sin(\alpha) \cos(\gamma)] \quad (C.8)$$

c = Velocidad de salida del chorro

γ = Ángulo de la boquilla con la base de montaje

θ = Ángulo de la boquilla(del catalogo)

α = Ángulo en la circunferencia de la boquilla

Luego se necesita calcular su comportamiento fuera de la boquilla. Para esto se necesita observar la dinámica de las gotas que ha sido analizado por diferentes científicos, iniciando con la ley de Stokes [45] la cual, se enfoca en micro partículas; luego Zerihun [46] que trato sobre las gotas de los rociadores frente a la presencia de viento nulo o dirigido basado en las ecuaciones de Fukui y Seginer ([47][48]); más adelante, Lorenzini [49] publico una forma simplificada de las ecuaciones de riego que no consideran la perdida de volumen que se explica en [50] y [51] pero dan una solución analítica y paramétrica a la dinámica de las gotas.

Sin embargo, ahora se hizo el uso de las formulas básicas basadas en las leyes de Newton, flotación y el arrastre generado sobre un cuerpo esférico C.4 a diferentes valores del numero de Reynolds proporcionado por la NASA [52] (ver figura C.5), el cual ya considera la reducción de diámetro y las fuerzas de fricción y presión. De lo cual se obtuvo la ecuación C.9.

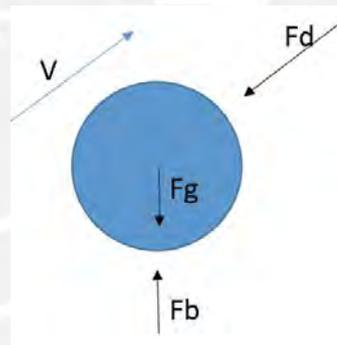


Figura C.4: (Fuerzas que se ejercen en una gota (Fuente propia)

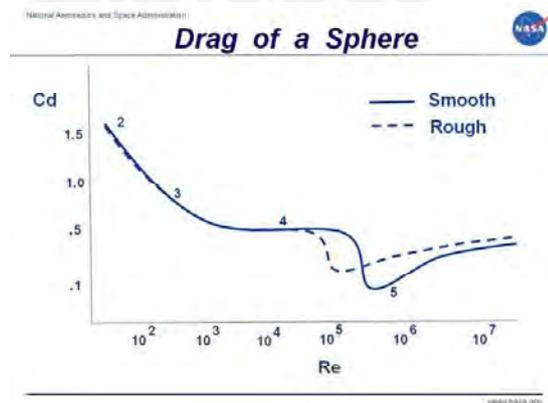


Figura C.5: (Variación del coeficiente de arrastre en una esfera (Fuente: grc.nasa.gov)

$$\begin{aligned}
\vec{F}_r &= \vec{F}_g + \vec{F}_b + \vec{F}_d \\
Vol_d &= \frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3 \\
Af &= \frac{\pi d^2}{4} \\
|F_g| &= Vol_d \rho_{agua} g \\
|F_b| &= Vol_d \rho_{aire} g \\
|F_d| &= \frac{|V|^2 \rho_{aire} Af Cd}{2} \\
\Delta P &= P_s - P_v \\
Pf &= P_{atm} - P_v \\
D_v &= (101.3/P_{atm}) 8.8 \times 10^6 (-10) T k_d^{1.81} \\
Sc &= \nu_a / D_v \\
\frac{dd}{dt} &= -2 \frac{M_v}{M_a} \frac{D_v}{d} \frac{\rho_{ho_a}}{\rho} \frac{\Delta P}{P_f} (2 + (0.6)(Sc)^{1/3} (Re)^{1/3})
\end{aligned} \tag{C.9}$$

- F_r = Fuerza resultante sobre la gota (en N)
 F_g = Fuerza de gravedad (en N)
 F_b = Fuerza de flotación (Buoyancy) (en N)
 F_d = Fuerza de arrastre (Drag) (en N)
 Vol, Af = Volumen y el área efectiva para el arrastre de la gota (en m^3 y m^2)
 M_v, M_a = peso molecular del vapor y el aire en difusión (en 29 y 18 Kg/mol)
 D_v = Coeficiente de difusión del vapor [53]
 ρ_a = Densidad del aire ($1.12 Kg/m^3$)
 P_s = Presión de saturación a la temperatura de bulbo húmedo (914.76 Pa)
 P_v = Presión de vapor a la temperatura de bulbo seco (0 Pa)
 P_{atm} = Presión atmosférica (101.3 KPa)
 T_{bs} = Temperatura del bulbo seco (20°)
 T_{bh} = Temperatura del bulbo húmedo (5.6°)
 ν_a = viscosidad cinemática del aire ($1.51E - 5 m^2/s$)

Entonces, como se puede observar no hay forma analítica simple de resolver esta serie de ecuaciones para averiguar el alcance máximo. Por lo que se propone el uso de aproximación lineal con tiempos muy pequeños como se propone en la ecuación C.10.

$$\begin{aligned}
\vec{c} &= [cx, cy, cz] \\
\vec{dir} &= [cx, cy, Vz]/|c| \\
Re &= \frac{d|V|}{\nu_a} \\
\frac{dd}{dt} &= -2 \frac{M_v}{M_a} \frac{D_v}{d} \frac{\rho_{ho_a}}{\rho} \frac{\Delta P}{P_f} (2 + (0.6)(Sc)^{1/3}(Re)^{1/3}) \\
\vec{F}_g &= Vol_a \rho g [0, 0, -1] \\
\vec{F}_b &= Vol_a \rho_a g [0, 0, 1] \\
\vec{F}_d &= - \frac{|V|^2 \rho_{aire} Af Cd}{2} \vec{dir} \\
\vec{F}_r &= \vec{F}_g + \vec{F}_b + \vec{F}_d \\
\vec{a} &= \vec{F}_r / m \\
\vec{V}_{t+\Delta t} &= \vec{c} + \vec{a} \Delta t \\
\vec{r}_{t+\Delta t} &= \vec{r} + \vec{c} \Delta t \\
\vec{d}_{t+\Delta t} &= d + \frac{dd}{dt} \Delta t
\end{aligned}
\tag{C.10}$$

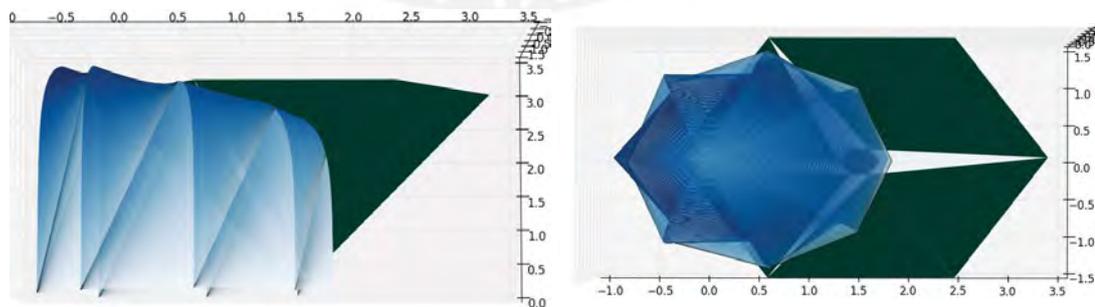
cx, cy, cz = Los componentes del vector velocidad de la gota

dir = Vector dirección de la velocidad de la gota

t = Tiempo

Δt = tiempo suficientemente pequeño que permite obtener un resultado fiable.

Lo anterior acabaría el modelo matemático que se simuló probando diferentes boquillas al mismo tiempo que el modelo presentado en la sección C.1. Y como se mencionó antes se encontró la bomba y la boquilla necesaria. Como último resultado también se obtuvo una imagen del alcance del riego que se muestra en la C.6. De este modo se observa que en alcance llega a cubrir hasta 1.7m al frente y 3.4m de alto.



(a) Vista lateral de la simulación

(b) Vista superior de la simulación

Figura C.6: Resultados de la simulación(Fuente: Propia)

C.3 Cálculo de la fuerza sobre la columna eléctrica

Para obtener las fuerzas que ocurren sobre la columna eléctrica es necesario hacer un DCL que se muestra en la figura C.7. Luego se puede observar que sobre la columna se ejerce el peso de los elementos de soporte de las boquillas y las mangueras, las boquillas y la fuerza del chorro, la cual se puede calcular con la ecuación C.11 con la información del caudal en el punto de operación y la velocidad del chorro. De este modo en la ecuación C.12 se obtiene que la fuerza en la columna es menor a 800N que es el límite.

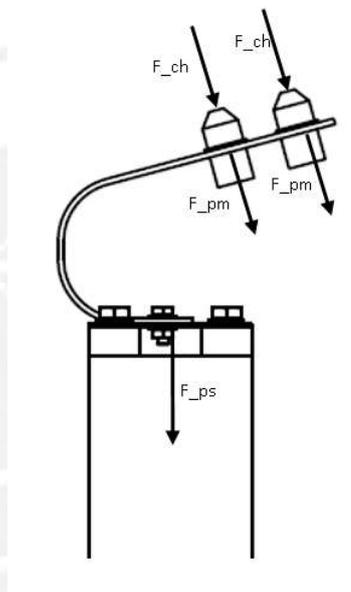


Figura C.7: DCL en la columna(Fuente propia)

$$F_{ch} = \dot{m}c_{ch}/dt$$

$$F_{ch} = \dot{m}c_{ch} + c_{ch}\dot{m} \quad (C.11)$$

$$F_{ch} = \rho\dot{V}c_{ch}$$

$$\dot{m} = \text{Flujo másico}(1.641E - 2Kg/s)$$

$$c_{ch} = \text{Velocidad del chorro}154.159m/s$$

$$\dot{c}_{ch} = \text{Aceleración del chorro}(0m/s^2)$$

$$m = \text{Masa del chorro}$$

$$\dot{V} = \text{Caudal del chorro}(1.641E - 5m^3/s)$$

$$F_{ch} = \text{Fuerza del chorro}(2.53N)$$

$$\vec{F}_{col} = 2 * \vec{F}_{ch} + 2 * \vec{F}_{pm} + \vec{F}_{ps} \quad (C.12)$$

$$\vec{F}_{pm} = \text{Peso de las mangueras } (2.45g[-\cos(75^\circ), -\sin(75^\circ)])$$

$$\vec{F}_{ch} = \text{Fuerza de los chorros } (2.53[-\cos(75^\circ), -\sin(75^\circ)])$$

$$g = \text{Aceleración de la gravedad } (9.81m/s^2)$$

$$\vec{F}_{ps} = \text{Fuerza del peso de los soportes } (2g[0, -1])$$

$$\vec{F}_{col} = \text{Fuerza sobre la columna } (73.04[\cos(-101.01), \sin(-101.01)])$$

C.4 Cálculo del volumen del contenedor

Esto se puede obtener de cuanto se necesita regar. De las recomendaciones de riego se menciona que es necesario regar 175 ml por árbol y de los requerimientos se solicita que riegue 60 árboles. De este modo se necesita por lo menos 10.5 litro; sin embargo es conveniente usar un factor de seguridad. En la ecuación C.13 se puede observar el cálculo.

$$V_{cont} = r_{arbol} n_{arbol} F_s \quad (C.13)$$

$$r_{arbol} = \text{volumen de riego por árbol } (0.175l)$$

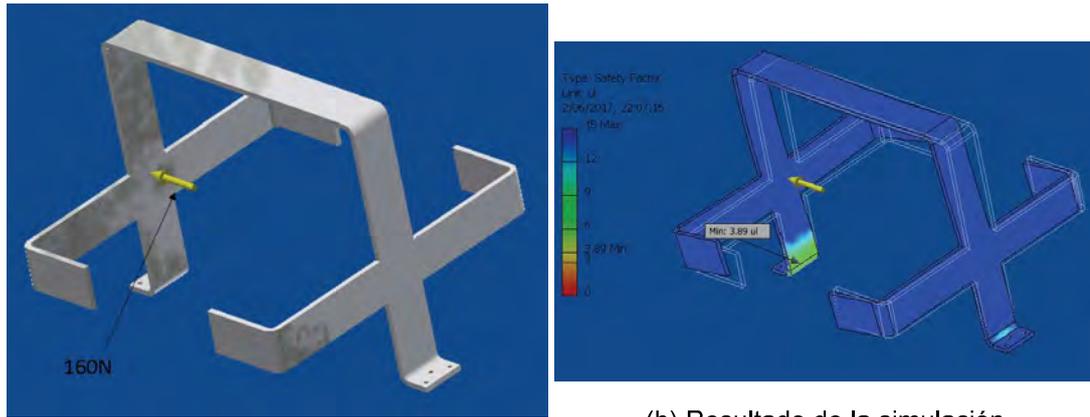
$$F_s = \text{Factor de seguridad } (1.2)$$

$$n_{arboles} = \text{Número de árboles}$$

$$V_{cont} = \text{Volumen del contenedor } (12.6l)$$

C.5 Evaluación del soporte del contenedor

Para evaluar esto se simulara el esfuerzo con las herramientas de Autodesk Inventor [54]. Cabe mencionar que se considera para la simulación una aceleración del vehículo de $8m/s^2$ y que el peso del contenedor es de 15 Kg. Para empezar se fijo las uniones con el vehículo y se aplico una carga lateral que sería la ejercida por el contenedor al acelerar. Las fuerzas ejercidas se pueden observar en la figura C.8a. De este modo se obtiene el factor de seguridad mínimo que es 3.89 en la figura C.8b.



(a) Fuerzas en el soporte del contenedor

(b) Resultado de la simulación

Figura C.8: Evaluación del soporte del contenedor(Fuente: Propia)

C.6 Evaluación del sistema de desplazamiento

El sistema de desplazamiento está compuesto por el RMP 440 LE, el cual según sus especificaciones tiene la capacidad de ir hasta 8m/s y subir una pendiente de 30 ° en un terreno de concreto. Sin embargo, ahora se debe evaluar la capacidad de desplazamiento con una carga de 60kg. La evaluación consiste en obtener sobre qué tipo de pendientes el vehículo puede desplazarse.

Cabe mencionar que la fuerza ejercida por el viento es mínima por lo que no se considera ya que es un territorio con bosques; asimismo la fuerza ejercida por el chorro al irrigar también es mínima y el torque también (además solo se irriga cuando el vehículo está detenido).

Para empezar, se considera un sistema de coordenadas en el centro del plano de apoyo formado por los 4 puntos de apoyo que son las ruedas. Entonces si el terreno se inclinara, este sistema de coordenadas se inclinará. Las inclinaciones del vehículo se han modelado como dos rotaciones una de θ grados en el eje y y una de α grados en el eje x de este modo se puede definir una inclinación frontal y una lateral. Esto se puede observar en la figura C.9 donde el sistema de coordenadas del vehículo cambia de XYZ a $X''Y''Z''$

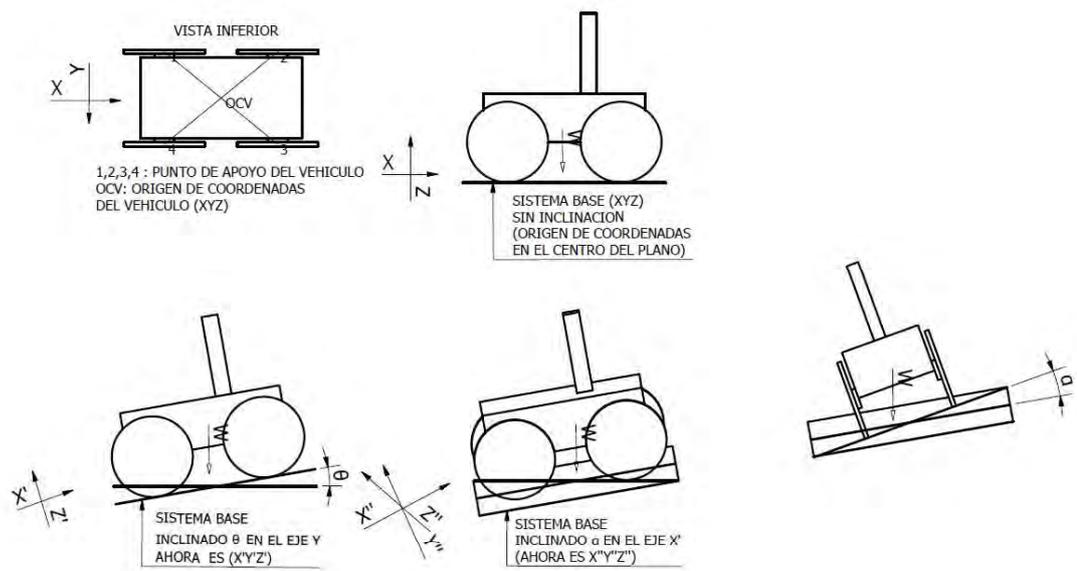


Figura C.9: Rotación del sistema de coordenadas. (Fuente propia)

Luego, se debe calcular las fuerzas ejercidas en el vehículo en función del peso cuando esta en reposo (el vehículo posee un freno el cual le permite estabilizarse en ciertas pendientes). Sin embargo es más conveniente trabajar en el sistema rotado final y no en el inicial ya que solo el peso es la fuerza que se transformaría. De esta forma se obtienen las fuerzas que se observan en la figura C.10.

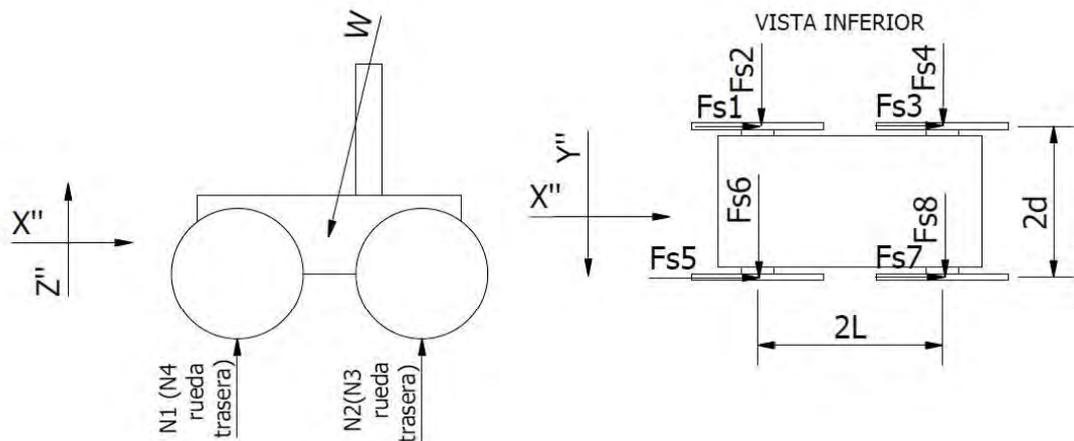


Figura C.10: Fuerzas sobre el vehículo (Fuente propia)

- W = Peso que actúa en el centro de gravedad del vehículo
 $F_{s1}...F_{s8}$ = Fuerzas de rozamiento que mantienen el vehículo quieto
 $N1..N4$ = Fuerzas normales a la base del vehículo
 $2L$ = Distancia entre ruedas delanteras y traseras(0.572m)
 $2d$ = Distancia entre ruedas izquierdas y derechas(0.663m)

Entonces se transforma la fuerza de gravedad al nuevo sistema de coordenadas usando las matrices de rotación como se muestra en el sistema de ecuaciones C.14.

$$Ry = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$Rx = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$W = [0, 0, -Mg]^T$$

$$Wr = Rx \times Ry \times W$$

$$Wm = Wr = [Wmx, Wmy, Wmz]$$

$$Rcg = [Rx, Ry, Rz]$$

$$Mw = Rcg \times Wm$$

$$Mw = [Mwx, Mwy, Mwz]$$

Ry = Matriz de rotación en el eje Y

Rx = Matriz de rotación en el eje x

W = Peso en N

g = Aceleración de la gravedad $9.81m/s^2$

$Wr = Wm$ = Peso en el sistema rotado

Rcg = Es la ubicación del centro de gravedad

$$[Rx, Ry, Rz] = [-0.005086, -0.003799, 0.30712326]m$$

M = Masa del sistema móvil

(C.14)

Sin embargo si trata de resolver el sistema de ecuaciones C.15 de fuerzas y momentos en todos los ejes, se observa que falta ecuaciones para resolver el sistema ya que hay 12 incógnitas pero solo 6 ecuaciones.

$$\begin{bmatrix} \sum Fx \\ \sum Fy \\ \sum Fz \\ \sum Mx \\ \sum My \\ \sum Mz \end{bmatrix} : \begin{bmatrix} Fs1 + Fs3 + Fs5 + Fs7 + Wmx \\ Fs2 + Fs4 + Fs6 + Fs8 + Wmy \\ N1 + N2 + N3 + N4 + Wmz \\ Mwx + (N3 + N4 - N1 - N2)d \\ Mwy + (N1 + N4 - N2 - N3)L \\ Mwz + (Fs1 + Fs3 - Fs5 - Fs7)d + (Fs4 + Fs8 - Fs2 - Fs6)L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (C.15)$$

Para resolver esto se propondrá una superposición de efectos de las fuerzas del peso y los momentos generados. además se considerara que los efectos se repartirán de forma igual para todas las fuerzas que se le oponen. De este modo se obtendría una serie de ecuaciones donde cada fuerza incógnita es una suma de efectos de las fuerzas y momentos ejercidos. Estos efectos se denotaran en el sufijo (por ejemplo efecto de Wmx en $Fs1$ es $Fs1_{Wmx}$) Entonces se obtendría el sistema de ecuaciones C.16.

$$\begin{bmatrix} Fs1 \\ Fs2 \\ Fs3 \\ Fs4 \\ Fs5 \\ Fs6 \\ Fs7 \\ Fs8 \\ N1 \\ N2 \\ N3 \\ N4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Fs1_{Wmx} + Fs1_{Wmy} + Fs1_{Wmz} + Fs1_{Mwx} + Fs1_{Mwy} + Fs1_{Mwz} \\ Fs2_{Wmx} + Fs2_{Wmy} + Fs2_{Wmz} + Fs2_{Mwx} + Fs2_{Mwy} + Fs2_{Mwz} \\ Fs3_{Wmx} + Fs3_{Wmy} + Fs3_{Wmz} + Fs3_{Mwx} + Fs3_{Mwy} + Fs3_{Mwz} \\ Fs4_{Wmx} + Fs4_{Wmy} + Fs4_{Wmz} + Fs4_{Mwx} + Fs4_{Mwy} + Fs4_{Mwz} \\ Fs5_{Wmx} + Fs5_{Wmy} + Fs5_{Wmz} + Fs5_{Mwx} + Fs5_{Mwy} + Fs5_{Mwz} \\ Fs6_{Wmx} + Fs6_{Wmy} + Fs6_{Wmz} + Fs6_{Mwx} + Fs6_{Mwy} + Fs6_{Mwz} \\ Fs7_{Wmx} + Fs7_{Wmy} + Fs7_{Wmz} + Fs7_{Mwx} + Fs7_{Mwy} + Fs7_{Mwz} \\ Fs8_{Wmx} + Fs8_{Wmy} + Fs8_{Wmz} + Fs8_{Mwx} + Fs8_{Mwy} + Fs8_{Mwz} \\ N1_{Wmx} + N1_{Wmy} + N1_{Wmz} + N1_{Mwx} + N1_{Mwy} + N1_{Mwz} \\ N2_{Wmx} + N2_{Wmy} + N2_{Wmz} + N2_{Mwx} + N2_{Mwy} + N2_{Mwz} \\ N3_{Wmx} + N3_{Wmy} + N3_{Wmz} + N3_{Mwx} + N3_{Mwy} + N3_{Mwz} \\ N4_{Wmx} + N4_{Wmy} + N4_{Wmz} + N4_{Mwx} + N4_{Mwy} + N4_{Mwz} \end{bmatrix} \quad (C.16)$$

Luego se calculó la ecuación C.15 considerando solo cada una de las fuerzas generadoras($Wmx, Wmy, Wmz, Mwx, Mwy, Mwz$). además se considero que la fuerza generadora presente se distribuiría de igual manero entre los efectos de la ecuación ya que los puntos de estos efectos están a una misma distancia y distribuidos de una manera uniforme. Por otro lado si en la ecuación la fuerza generadora no estuviera presente, todos los efectos presentes serian cero ya que no habría razón de tener algún valor si nada las genera. Un ejemplo de este tipo de cálculo se muestra para del efecto de la fuerza Wmx mostrado en el sistema de ecuaciones C.17, del cual se obtiene el resultado mostrado en la ecuación C.18.

$$\begin{bmatrix} \sum F_x \\ \sum F_y \\ \sum F_z \\ \sum M_x \\ \sum M_y \\ \sum M_z \end{bmatrix} : \begin{bmatrix} F s1_{Wmx} + F s3_{Wmx} + F s5_{Wmx} + F s7_{Wmx} + Wmx \\ F s2_{Wmx} + F s4_{Wmx} + F s6_{Wmx} + F s8_{Wmx} \\ N1_{Wmx} + N2_{Wmx} + N3_{Wmx} + N4_{Wmx} \\ N3_{Wmx} + N4_{Wmx} - N1_{Wmx} - N2_{Wmx} \\ (N1_{Wmx} + N4_{Wmx} - N2_{Wmx} - N3_{Wmx})L \\ (F s1_{Wmx} + F s3_{Wmx} - F s5_{Wmx} - F s7_{Wmx})d + (F s4_{Wmx} + F s8_{Wmx} - F s2_{Wmx} - F s6_{Wmx})L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (C.17)$$

$$\begin{bmatrix} F s1_{Wmx} \\ F s3_{Wmx} \\ F s5_{Wmx} \\ F s7_{Wmx} \\ F s2_{Wmx} \\ F s4_{Wmx} \\ F s6_{Wmx} \\ F s8_{Wmx} \\ N1_{Wmx} \\ N2_{Wmx} \\ N3_{Wmx} \\ N4_{Wmx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Wmx/4 \\ -Wmx/4 \\ -Wmx/4 \\ -Wmx/4 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (C.18)$$

De este modo se con cada fuerza generadora y al final se reemplazo los efectos en la ecuación C.16 donde se obtuvo la ecuación C.19.

$$\begin{bmatrix} F s1 \\ F s3 \\ F s5 \\ F s7 \\ F s2 \\ F s4 \\ F s6 \\ F s8 \\ N1 \\ N2 \\ N3 \\ N4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Wmx/4 - Mwx/(8d) \\ -Wmx/4 - Mwx/(8d) \\ -Wmx/4 + Mwx/(8d) \\ -Wmx/4 + Mwx/(8d) \\ -Wmy/4 + Mwx/(8L) \\ -Wmy/4 - Mwx/(8L) \\ -Wmy/4 - Mwx/(8L) \\ -Wmy/4 + Mwx/(8L) \\ -Wmz/4 + Mwx/(4d) - Mwy/(4L) \\ -Wmz/4 + Mwx/(4d) + Mwy/(4L) \\ -Wmz/4 - Mwx/(4d) + Mwy/(4L) \\ -Wmz/4 - Mwx/(4d) - Mwy/(4L) \end{bmatrix} \quad (C.19)$$

Ahora para validar bajo que inclinaciones es posible su desplazamiento, el vehículo deberá cumplir las condiciones siguientes condiciones. Para empezar no deberá volcarse, lo cual puede ser expresado como la ecuación C.20 ya que si una de las normales es 0 significa que una rueda se va a elevar. Por otro lado, no debe deslizar, lo cual puede ser expresado como la ecuación C.21.

$$\begin{aligned}
N1 &\geq 0 \\
N2 &\geq 0 \\
N3 &\geq 0 \\
N4 &\geq 0
\end{aligned}
\tag{C.20}$$

$$\begin{aligned}
Fs1^2 + Fs2^2 &\leq (N1\mu_s)^2 \\
Fs3^2 + Fs4^2 &\leq (N2\mu_s)^2 \\
Fs5^2 + Fs6^2 &\leq (N3\mu_s)^2 \\
Fs7^2 + Fs8^2 &\leq (N4\mu_s)^2
\end{aligned}
\tag{C.21}$$

μ_s = Coeficientes de fricción estático para este caso(0.8)[55]

μ_k = Coeficientes de fricción cinético para este caso (0.5)[55]

A pesar de que estas condiciones son solo para el estado de reposo, son una base para las posiciones donde el vehículo puede empezar el movimiento. Para el estado de movimiento se deberá cambiar las ecuaciones según lo mostrado en la figura C.11 y la ecuación C.22.

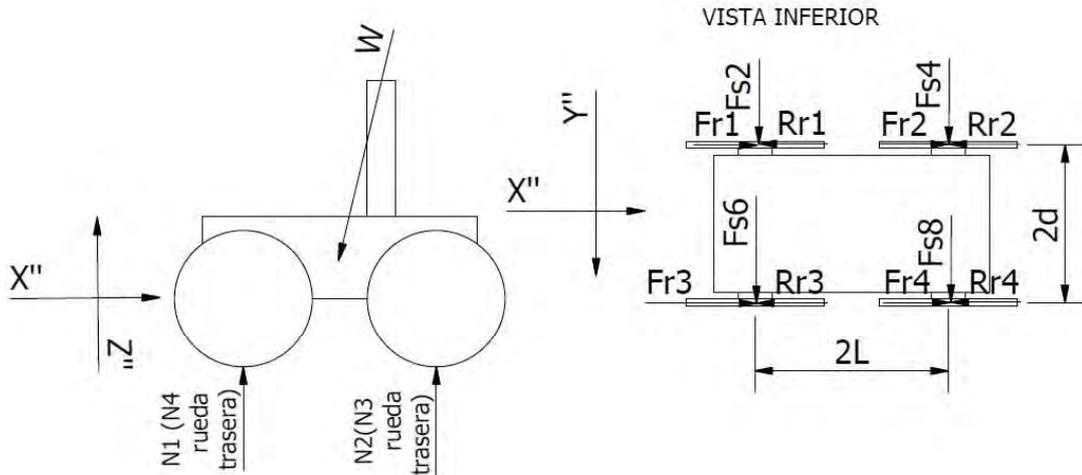


Figura C.11: Fuerzas sobre el vehículo en movimiento

$$\begin{aligned}
Rr1 &= N1Cc \\
Rr2 &= N2Cc \\
Rr3 &= N3Cc \\
Rr4 &= N4Cc
\end{aligned}
\tag{C.22}$$

$Fr1, Fr2, Fr3, Fr4$ = Fuerzas generadas por la rueda

Cc = Coeficiente de resistencia a la rodadura

Entonces se deberá evaluar que valores debe tener la fuerzas de las ruedas para no volcarse y no deslizar de manera lateral (ya que puede deslizar al arrancar). Las fuerzas mínimas y máximas bajo la condición que asegura un no deslizamiento se definen en las ecuaciones C.23.

$$\begin{aligned}
 Fr1_{min} &= N1Cc + Fs1 \\
 Fr1_{max} &= \sqrt{(N1\mu_s)^2 - Fs2^2} + N1Cc \\
 Fr2_{min} &= N2Cc + Fs3 \\
 Fr2_{max} &= \sqrt{(N2\mu_s)^2 - Fs4^2} + N2Cc \\
 Fr3_{min} &= N3Cc + Fs5 \\
 Fr3_{max} &= \sqrt{(N3\mu_s)^2 - Fs6^2} + N3Cc \\
 Fr4_{min} &= N4Cc + Fs7 \\
 Fr4_{max} &= \sqrt{(N4\mu_s)^2 - Fs8^2} + N4Cc
 \end{aligned} \tag{C.23}$$

Ahora se compara con la fuerza de la rueda máxima ($Frmax$) para saber en que inclinaciones de las halladas del vehículo sin moverse se puede acelerar. En las ecuaciones C.23 se define un valor máximo aceptable sin embargo, la rueda puede ejercer más de este valor pero deslizaría usando para impulsarse un valor menor. Por ejemplo en el caso de la fuerza $Fr1$ si es mayor a $Fr1_{max}$ entonces la fuerza que ejercería sería $\sqrt{(N1\mu_k)^2 - Fs2^2}$ y si esta es mayor a $Fr1_{min}$ el vehículo aún podría avanzar aunque deslizando. Cabe mencionar que se mantiene $Fs2$ ya que el exceso no viene de su eje y es la fuerza necesaria para que no deslice lateralmente. De esta forma se deberá respetar la condición C.24 para que una inclinación sea valida (estas ecuaciones también se cumplen en el caso que el vehículo este de bajada ya que la fuerza $Fs1$ sería negativa y ayudaría a la propulsión).

No cumple si:

$$\begin{aligned}
 &(Frmax > Fr1_{max} \vee \sqrt{(N1\mu_k)^2 - Fs2^2} < Fr1_{min}) \\
 &\wedge (Frmax > Fr2_{max} \vee \sqrt{(N2\mu_k)^2 - Fs4^2} < Fr2_{min}) \\
 &\wedge (Frmax > Fr3_{max} \vee \sqrt{(N1\mu_k)^2 - Fs6^2} < Fr3_{min}) \\
 &\wedge (Frmax > Fr4_{max} \vee \sqrt{(N1\mu_k)^2 - Fs8^2} < Fr4_{min}) \\
 &\wedge (Frmax < Fr1_{min}) \\
 &\wedge (Frmax < Fr2_{min}) \\
 &\wedge (Frmax < Fr3_{min}) \\
 &\wedge (Frmax < Fr4_{min})
 \end{aligned} \tag{C.24}$$

$Frmax$ = Máxima fuerza que genera la reuda del vehículo (374.95N)

Entonces se evalúa cada inclinación con θ y α y como resultado se muestra que las pendientes posibles son las mostradas en la figura C.12.

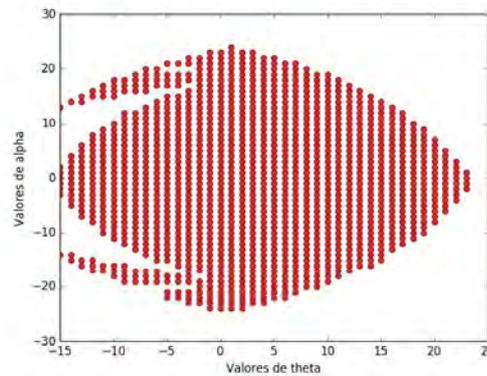


Figura C.12: Pendientes posibles para el vehículo (Fuente propia)

C.7 Cálculo para averiguar si el vehículo pasar sobre un obstáculo de 10cm

Para saber si el vehículo puede pasar sobre este obstáculo es necesario calcular la pendiente a la que este obstáculo llevaría. Para este cálculo, se considero que las ruedas delanteras estarían sobre el obstáculo de 10cm lo cual nos daría una pendiente (θ_{10cm}) que podría contrastarse con las inclinaciones seguras para el vehículo. Entonces para calcular la pendiente se uso la ecuación C.25 y se obtuvo que el punto si es seguro ya que la pendiente sería 9.91° para θ y 0° para α .

$$\theta_{10cm} = \arctan(0.1/2L) = 9.91^\circ \quad (C.25)$$

Apéndice D

Entrenamiento y selección del modelo de redes neuronales convolucionales

En este capítulo, se muestra el resumen del proceso de entrenamiento y selección de los modelos para el sistema de detección de anomalías.

D.1 Entrenamiento del modelo de CNN para la evaluar si una imagen es de cacao

D.1.1 Arquitecturas usadas

Las arquitecturas entrenadas para la detección de frutos de cacao en una imagen se basan en publicaciones científicas pasadas. El diagrama de bloques de los modelos y el código usado se puede observar en el anexo E. Los modelos usados se basan en los trabajos de Yan Le Cun [37], los bloques característicos de las arquitecturas ganadoras de la ILSVRC, GoogleNet [36] y Microsoft Resnet [38] y un modelo que combina estos dos bloques.

D.1.2 Base de datos de imágenes

Para entrenar el sistema para reconocer imágenes de cacao se necesita una base de datos de imágenes de cacao y de algo que no es cacao. Las pruebas se realizaron con una base de datos de imágenes obtenidas por segmentación manual de imágenes proporcionadas por Google Image Search Engine [56] e imágenes propias con un fin académico, de querer ser usado comercialmente, se recomienda usar una base de imágenes propia. En total se cuenta con 10015 imágenes, 7856 imágenes que no son cacao pero se suelen encontrar en las zonas de producción de cacao y 2159 imágenes de cacao.

Cabe mencionar que estas imágenes en el entrenamiento se dividen en relación 7 a 3 para que se entrene con la porción mayor y se valide el entrenamiento con la porción menor para evitar que el modelo obtenido no sea un modelo memoria. Algunas de estas imágenes se puede ver en la figura D.1. Asimismo, se usaron técnicas de aumento de imágenes proporcionadas por la librería Keras que a través de transformaciones morfológicas, generan imágenes adicionales para el entrenamiento.



Figura D.1: Base de Datos de imágenes(Fuente: Google y propia)

D.1.3 Características del entrenamiento

El entrenamiento fue propuesto a realizar usando GPU debido a su ventaja en velocidad de procesamiento en las NN. Sin embargo, por diversos motivos se realizó en CPU con cada entrenamiento por modelo durando 1 a 2 semanas. Cabe destacar que el proceso de detección, a diferencia de el de entrenamiento con cualquiera de estos modelos, dura de 30 segundos a dos minutos en CPU, lo cual será reducido con el uso del GPU.

La máquina usada para el entrenamiento fue una instancia virtual en la plataforma Azure de Microsoft, Estándar D1 (1 Núcleo(2.1Ghz), 3.5 GB de memoria RAM). Cabe destacar que anteriormente se usó otra máquina con más memoria y mayor número de núcleos pero la velocidad de entrenamiento seguía siendo la misma. Se usó el lenguaje Python en su versión 3.5 [57] en el IDE Spyder [58] con el uso básicamente de las librerías Keras [59], la cual facilita el uso de las librerías Theano [60] y Tensorflow [61], la librería Numpy [62], Matplotlib [63] y OS.

El proceso de entrenamiento se hizo en 1000 ciclos, reduciendo el factor de aprendizaje (factor que refleja el impacto de las correcciones que se hacen al modelo automáticamente al final de cada ciclo de aprendizaje) cada vez que la variable loss, la cual esta basada en la diferencia media al cuadrado entre el modelo ideal obtenido y las imágenes reales, no disminuya. Cabe destacar que idealmente se trata que el valor de la variable loss llegue a cero.

D.1.4 Resultados del entrenamiento

En las figuras D.2a, D.2b, D.3a y D.3b se puede observar la evolución de la exactitud y el loss en el entrenamiento y la validación, respectivamente.

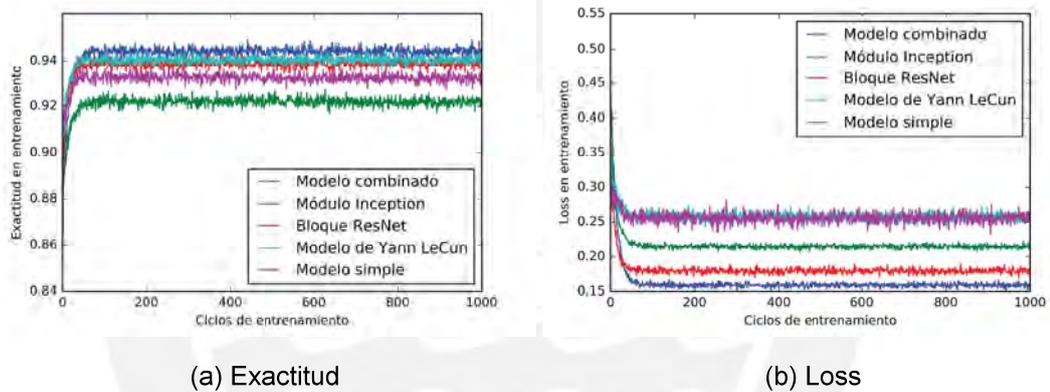


Figura D.2: Evolución de la exactitud y el loss en el entrenamiento(Fuente propia)

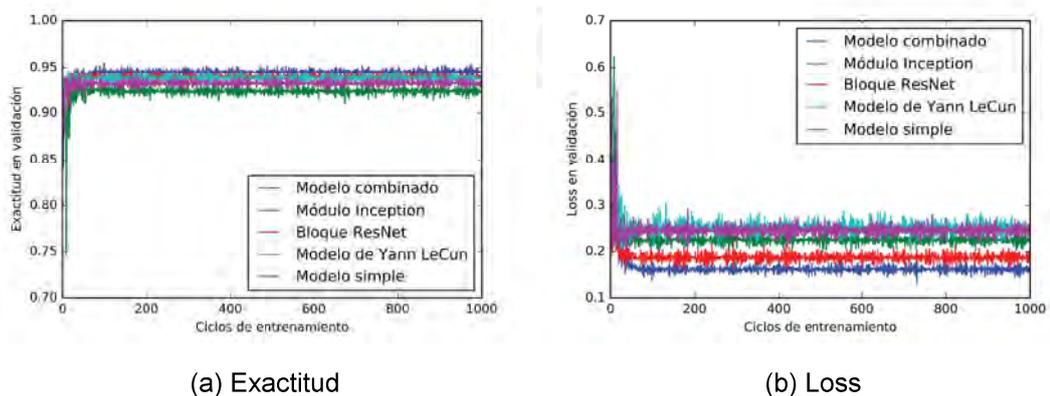


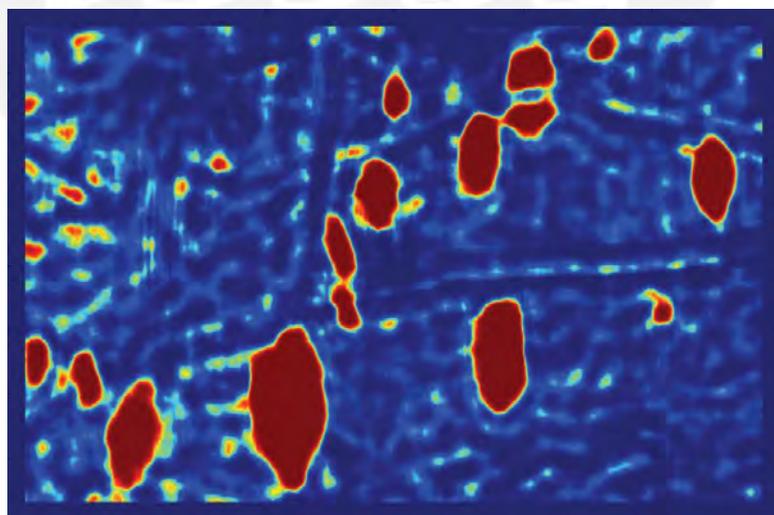
Figura D.3: Evolución de la exactitud y el loss en la validación(Fuente propia)

D.1.5 Conclusión de el entrenamiento

Se puede concluir que entre los modelos entrenados, el modelo combinado es el optimo ya es obtuvo la mayor exactitud (94.4%) y menor loss para clasificar si una imagen es un fruto de cacao o no al final del entrenamiento. Se puede observar en la figura D.4 una muestra de su capacidad para esta tarea donde cada pixel es un valor de 0 a 1 con la certeza de que una ventana de 30 x 30 píxeles alrededor de ella es un cacao.



(a) Planta de cacao



(b) Resultado

Figura D.4: Mapa de certeza del cacao en una imagen(rojo más oscuro es mayor certeza de la presencia de cacao).(Fuente Propia)

D.2 Entrenamiento del modelo de CNN para evaluar si una imagen de cacao es anómalo

Bajo la propuesta expresada en la sección 2.2.2 se decidió usar los modelos explicados en la sección D.1 pero con el objetivo de que el sistema pueda aprender a diferenciar un cacao enfermo de uno sano a través de los histogramas 2D de color HSL o HSV con el objetivo de enfocarse la evaluación en los cambios de color. En la figura D.5 se puede observar los histogramas 2D de color y los histogramas de escala de gris y de color que se obtuvieron de una imagen.

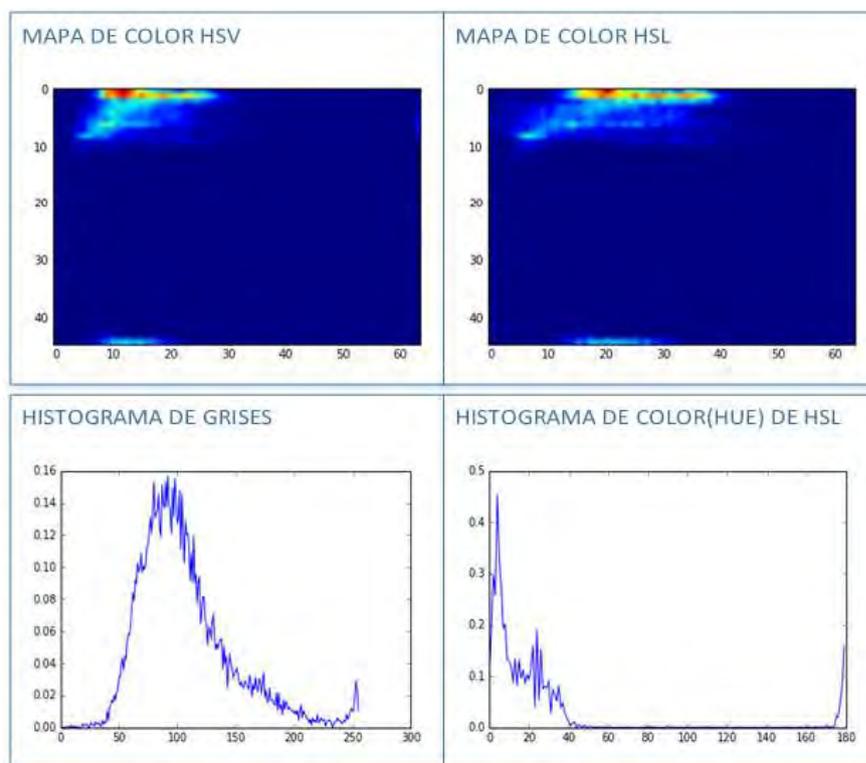


Figura D.5: Mapas de Color e histogramas obtenidos de una imagen de cacao (Fuente Propia)

D.2.1 Arquitecturas usadas

Del mismo modo que en la sección D.1 se usaron diferentes modelos para el aprendizaje en los histogramas 2D de color. El código del experimento se puede observar en E.2

D.2.2 Base de datos del experimento

Para entrenar este sistema se uso una base de datos menor que a la del anterior experimento. Estas imágenes también se obtuvieron de imágenes de Google Image Search Engine [56] e imágenes propias con un fin académico, de querer ser usado comercialmente, de recomienda el uso de una base de imágenes propia. En total son 1345 imágenes, de las cuales 90 son imágenes de cacao Infectado. Luego, estas imágenes han sido procesadas y se ha obtenido los histogramas 2D de color HSV y HSL e histogramas de HUE y de la imagen en escala de grises.

Cabe mencionar, que igual que en la sección D.1 se divido esta base de datos en una relación 7 a 3 para el entrenamiento y validación automática respectivamente.

D.2.3 Características del entrenamiento

El entrenamiento fue propuesto a realizar usando GPU debido a su ventaja en velocidad de procesamiento en las redes neuronales, sin embargo, por diversos motivos se realizó en CPU con cada experimento durando de 2 a 5 días. Sin embargo, cabe destacar que el proceso de detección a diferencia de el de entrenamiento con cualquiera de estos modelos dura menos de 1 a 5 segundos en promedio en CPU, lo cual sera reducido con el uso del GPU propuesto en el sistema electrónico.

La maquina usada para el entrenamiento fue una instancia virtual en la plataforma Azure de Microsoft, Estándar D1 (1 Núcleo(2.1Ghz), 3.5 GB de memoria Ram). Se uso el lenguaje Python en su versión 3.5 [57] en el IDE Spyder [58] con el uso basicamente de las librerías Keras [59], la cual facilita el uso de las librería Theano [60] y Tensorflow [61], la librería OPENCV [64], la librería Numpy [62], Matplotlib [63] y OS.

El proceso de entrenamiento se hizo con el mismo objetivo que en la sección D.1.

D.2.4 Resultados del entrenamiento

En las figuras D.6a, D.6b, D.7a y D.7b se puede observar la evolución de la exactitud y el loss en el entrenamiento y la validación. respectivamente evaluando los mapas HSV y HSL respectivamente.

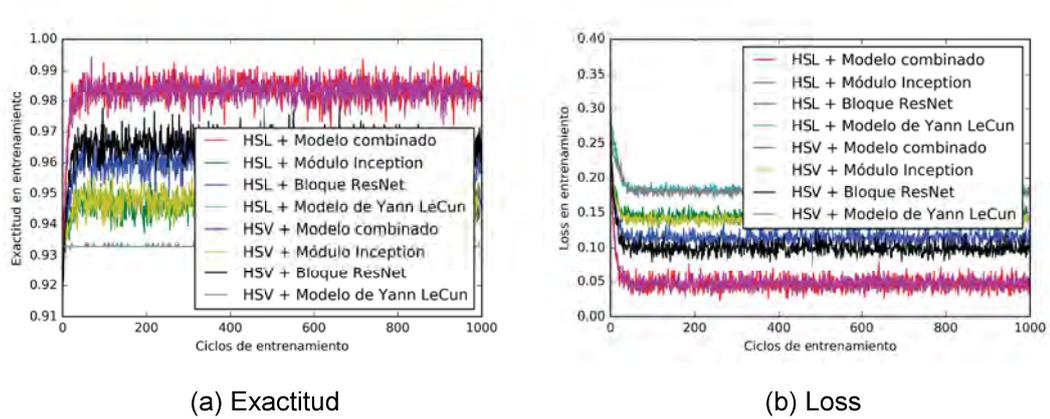


Figura D.6: Evolución de la exactitud y el loss en el entrenamiento(Fuente Propia)

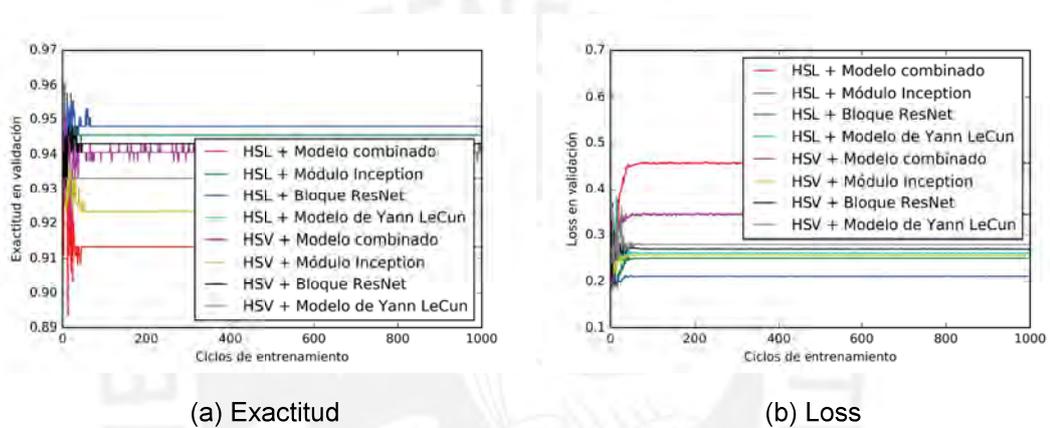


Figura D.7: Evolución de la exactitud y el loss en la validación(Fuente Propia)

D.2.5 Conclusión del entrenamiento

De los resultados obtenidos, se concluye que es mejor usar el histograma 2D HSL en conjunto con el modelo basado en el bloque Resnet debido a su mejor exactitud (94.8%) y menor loss obtenido al final del entrenamiento en comparación con los demás modelos.

Apéndice E

Código del entrenamiento de los modelos de CNN para la detección de frutos de cacao y para el descarte de presencia de anomalías

Para la elaboración del código se usó el lenguaje Python en su versión 3.5 [57] en el IDE Spyder [58] con el uso de las librerías Keras [59], la cual facilita el uso de la librería Theano [60], Tensorflow [61] y la librería OPENCV [64]

E.1 Código para el entrenamiento de los modelos a entrenar para la tarea de detección de frutos de cacao

A continuación, se mostrará el código para el entrenamiento de los modelos que se evaluaron para elaborar el sistema de detección. Para empezar, se mencionará una breve información del modelo, un diagrama y el enlace donde se puede encontrar el código. Cabe mencionar que todos los enlaces llevan a diferentes archivos de los repositorios en <https://github.com/a-bacilio/Codigo-de-Tesis-deteccion>, <https://github.com/a-bacilio/Codigo-de-tesis-descarte> y <https://github.com/a-bacilio/Codigo-de-tesis-aplicacion>

E.1.1 Modelo basado en las pruebas de Yann LeCun

Este modelo se basa en el ejemplo propuesto en la documentación de Keras [59] basado en el modelo de Yann LeCun [37] en el que se usó para la identificación de números en lenguaje escrito pero en el ejemplo fue usado para la clasificación binaria entre perros y gatos. Además tiene 618593 parámetros entrenables y su peso es de 4863 KB. Un diagrama del modelo se puede observar en la figura E.1 y el código se puede observar en https://github.com/a-bacilio/Codigo-de-Tesis-deteccion/blob/master/yann_lecun.py.

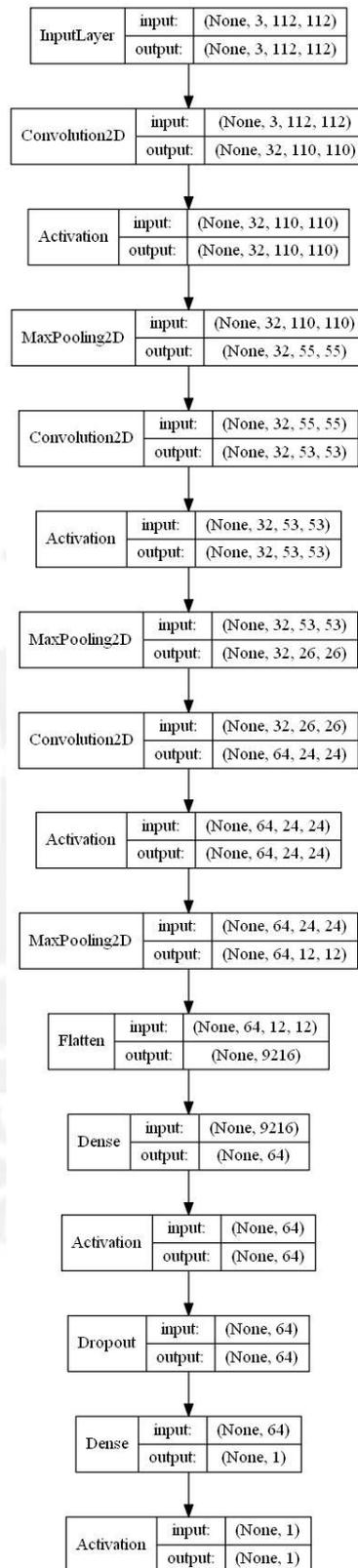


Figura E.1: Modelo basado en las pruebas de Yann LeCun en los 90's (Fuente propia)

E.1.2 Modelo basado en las pruebas de Yann LeCun Simplificado

Este modelo se basa en una versión del modelo anterior pero con menos cantidad de filtros, con el fin de que el entrenamiento y la detección sea más rápida. Posee 38873 parámetros entrenables y su peso es de 334 KB. Un diagrama del modelo se puede observar en la figura E.2 y el código se muestra en https://github.com/a-bacilio/Codigo-de-Tesis-deteccion/blob/master/yann_lecun_simple.py.

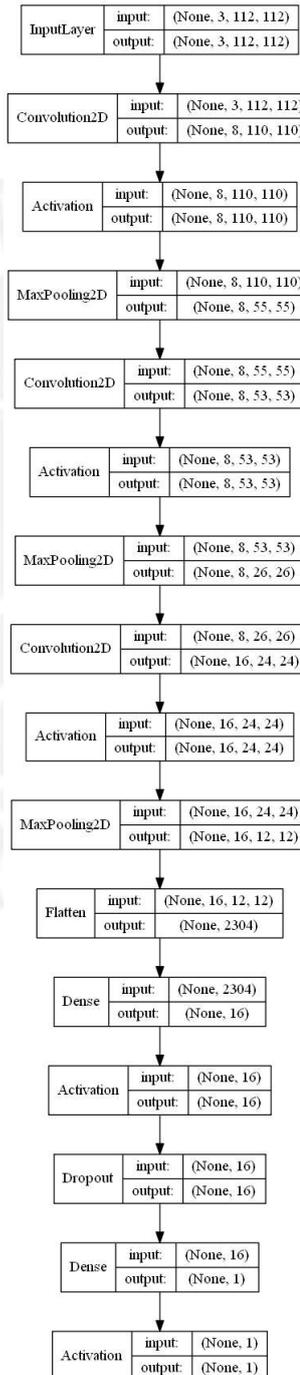


Figura E.2: Modelo basado en las pruebas de Yann LeCun, simplificado (Fuente propia)

E.1.3 Modelo basado en el Residual Block

Este modelo se basa en el Residual block usado en el modelo ganador de la ILSVRC 2015, la Microsoft Resnet [38]. Posee 86577 parámetros entrenables y 112 no entrenables; además, pesa 716 KB. Un diagrama se puede observar en E.3 y el código se muestra en <https://github.com/a-bacilio/Codigo-de-Tesis-deteccion/blob/master/resnet.py>.

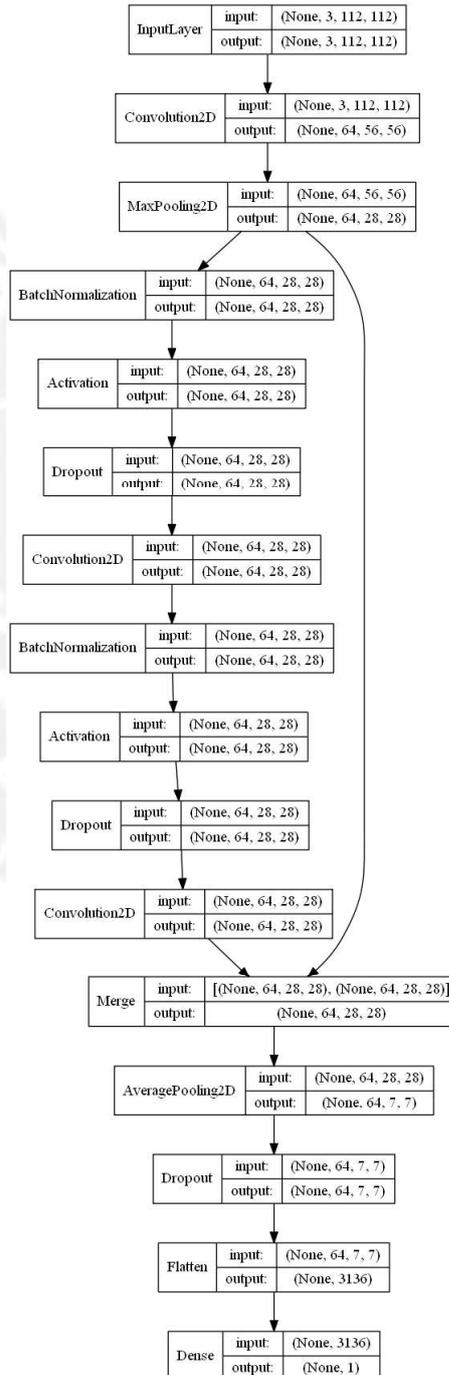


Figura E.3: Modelo basado en el Residual block (Fuente propia)

E.1.4 Modelo basado en el Inception Module de la GoogleNet

Este modelo se basa en el módulo inception de la GoogleNet [36] . Posee 58945 parámetros entrenables y pesa 500KB. Se puede observar el diagrama de bloques en la figura E.4 y el código se en <https://github.com/a-bacilio/Codigo-de-Tesis-deteccion/blob/master/inception.py>.

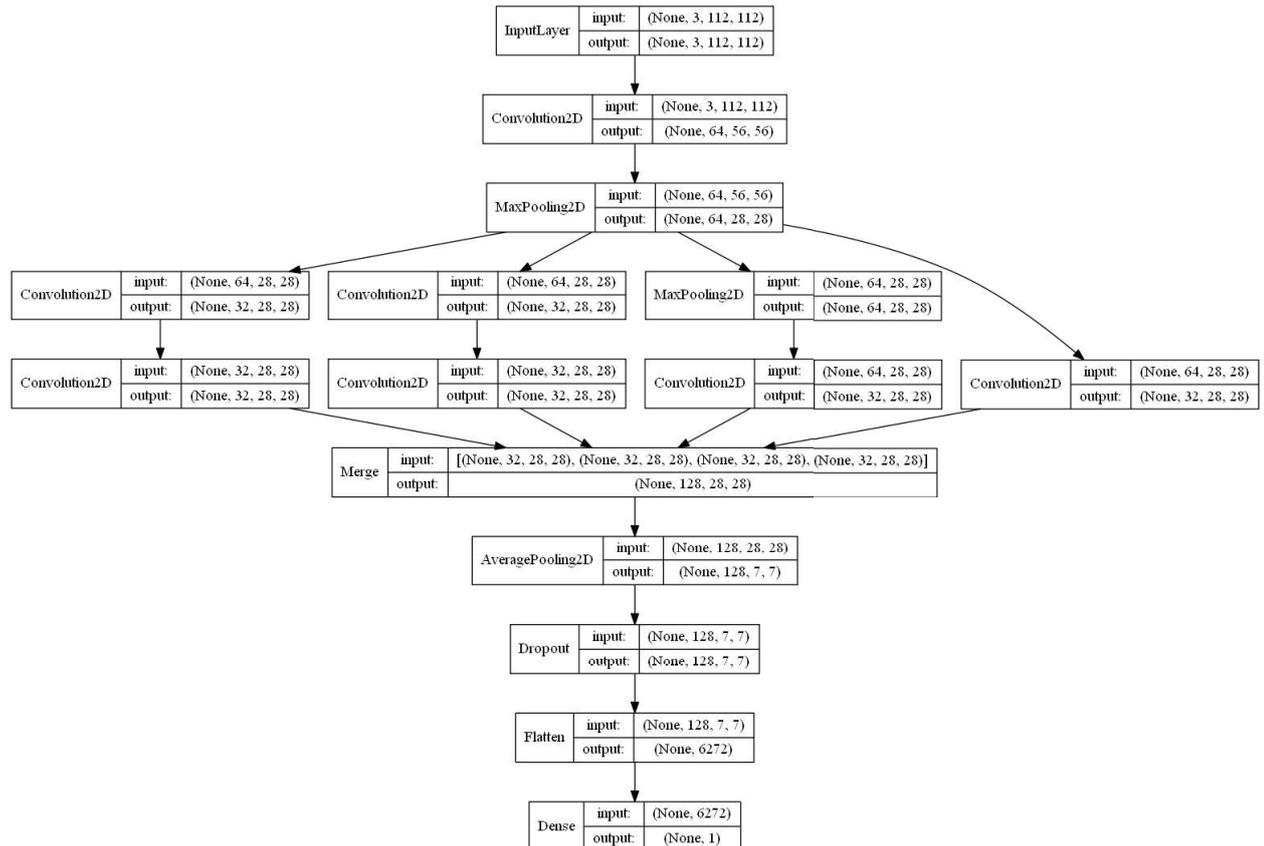


Figura E.4: Modelo basado en el módulo inception (Fuente propia)

E.1.5 Modelo basado en la combinación del módulo Inception y el bloque Resnet

Este modelo utiliza en un inicio el bloque Resnet y luego utiliza el módulo Inception con el fin de obtener más precisión en la detección. Además tiene 133025 parámetros, de los cuales 112 no son entrenables, y su peso es de 1094 KB .Un diagrama del modelo se puede observar en la figura E.5 y el código se muestra en <https://github.com/a-bacilio/Codigo-de-Tesis-deteccion/blob/master/combinado.py>.

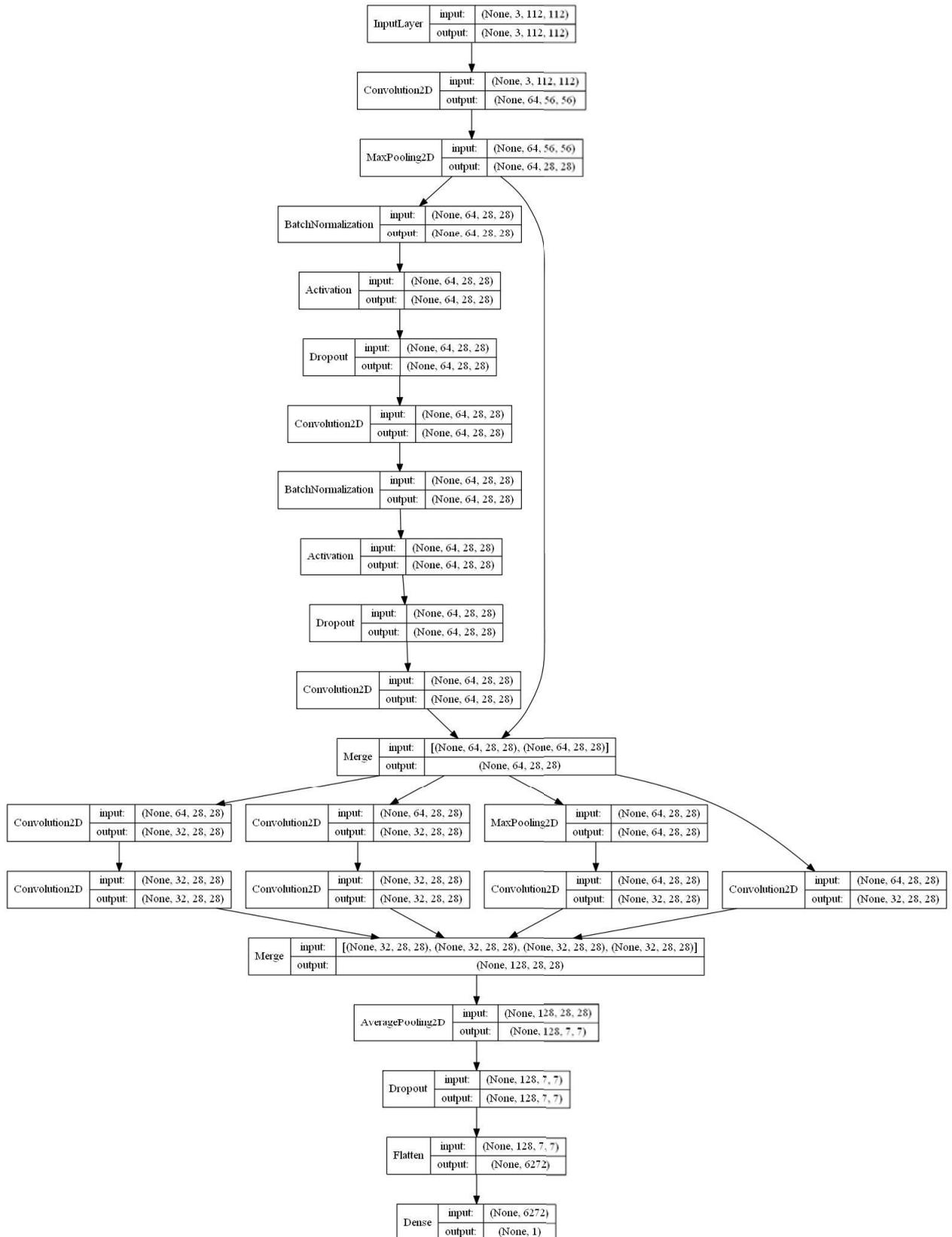


Figura E.5: Modelo Combinado (Fuente propia)

E.2 Código para el entrenamiento de los modelos a entrenar para la tarea de descarte de anomalías basado en histogramas 2D de color HSV y HSL

E.2.1 Código para obtener la base de datos de mapa HSV y mapa HSL

Para obtener la base de datos para el entrenamiento de los modelos a partir de las imágenes de cacao infectado y cacao sano se usó el código en https://github.com/a-bacilio/Codigo-de-tesis-descarte/blob/master/obtener_descriptores.py.

E.2.2 Modelo basado en las pruebas de Yann LeCun

Este modelo se basa en el ejemplo propuesto en la documentación de Keras [59] basado en el modelo de Yann LeCun [37] en el que se usó para la identificación de números escritos a mano ;pero en el ejemplo fue usado para la clasificación binaria entre perros y gatos.

Para el caso de los histogramas 2D de color HSV y HSL, esta arquitectura posee 101921 parámetros entrenables y pesa 827Kb. El diagrama del modelo es el mismo para los dos casos, HSV y HSL y puede observarse en la figura E.6

Por otro lado, el código se puede apreciar en https://github.com/a-bacilio/Codigo-de-tesis-descarte/blob/master/mapahsl_yannlecun.py y https://github.com/a-bacilio/Codigo-de-tesis-descarte/blob/master/mapahsv_yannlecun.py.

Cabe mencionar que para usar el código es necesario que se instalen las librerías necesarias.

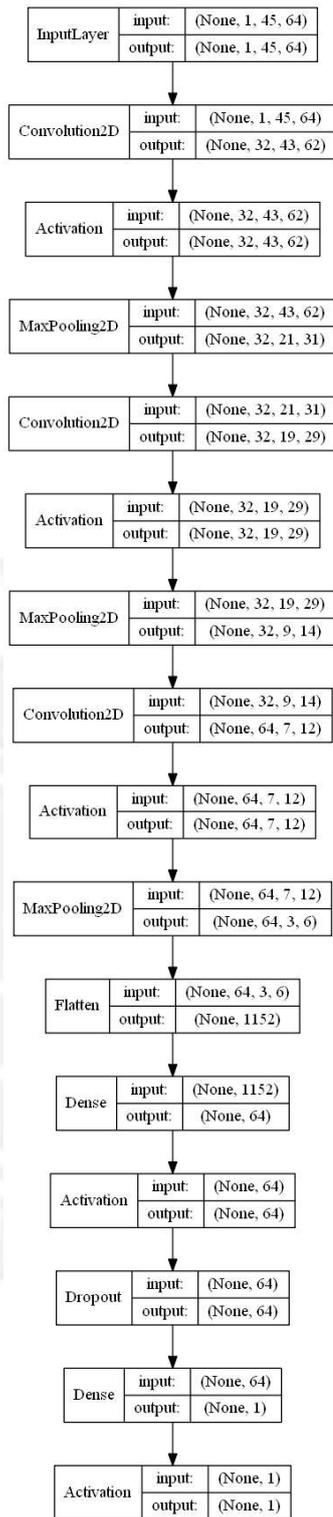


Figura E.6: Modelo de Yann Lecun para los mapas HSV y HSL (Fuente propia)

E.2.3 Modelo basado en el Residual Block

Este modelo se basa en el Residual block usado en el modelo ganador de la ILSVRC 2015, la Microsoft Resnet [38]. Posee 77697 parámetros, de los cuales 64 son no entrenables. Un diagrama del modelo se puede observar en la figura E.7 y el código se puede observar en https://github.com/a-bacilio/Codigo-de-tesis-descarte/blob/master/mapahsl_resnet.py y en https://github.com/a-bacilio/Codigo-de-tesis-descarte/blob/master/mapahsv_resnet.py.

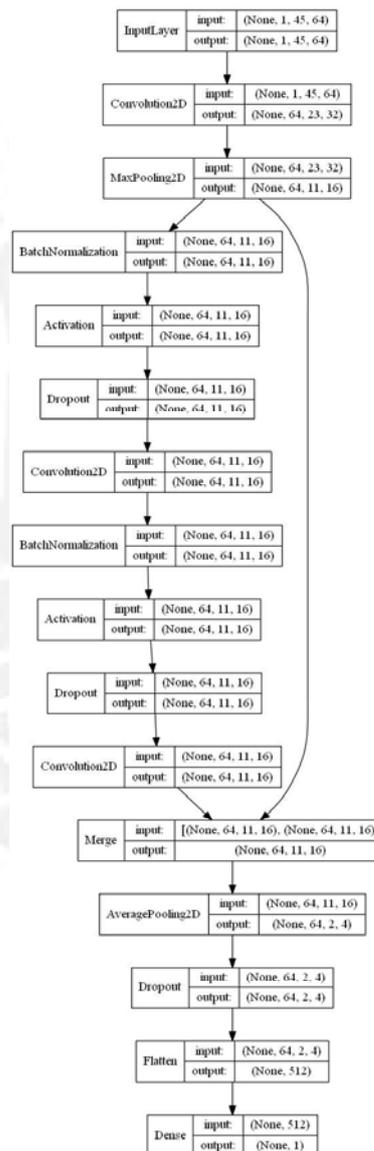


Figura E.7: Modelo basado en el bloque Resnet para los mapas HSV y HSL (Fuente propia)

E.2.4 Modelo basado en el Inception Module de la GoogleNet

Este modelo se basa en el módulo inception de la GoogleNet [36]. Posee 47425 parámetros entrenables y pesa 411KB. Se puede observar el diagrama de bloques del modelo en la figura E.8 y el código se puede ver en https://github.com/a-bacilio/Codigo-de-tesis-descarte/blob/master/mapahsv_inception.py y https://github.com/a-bacilio/Codigo-de-tesis-descarte/blob/master/mapahsl_inception.py.

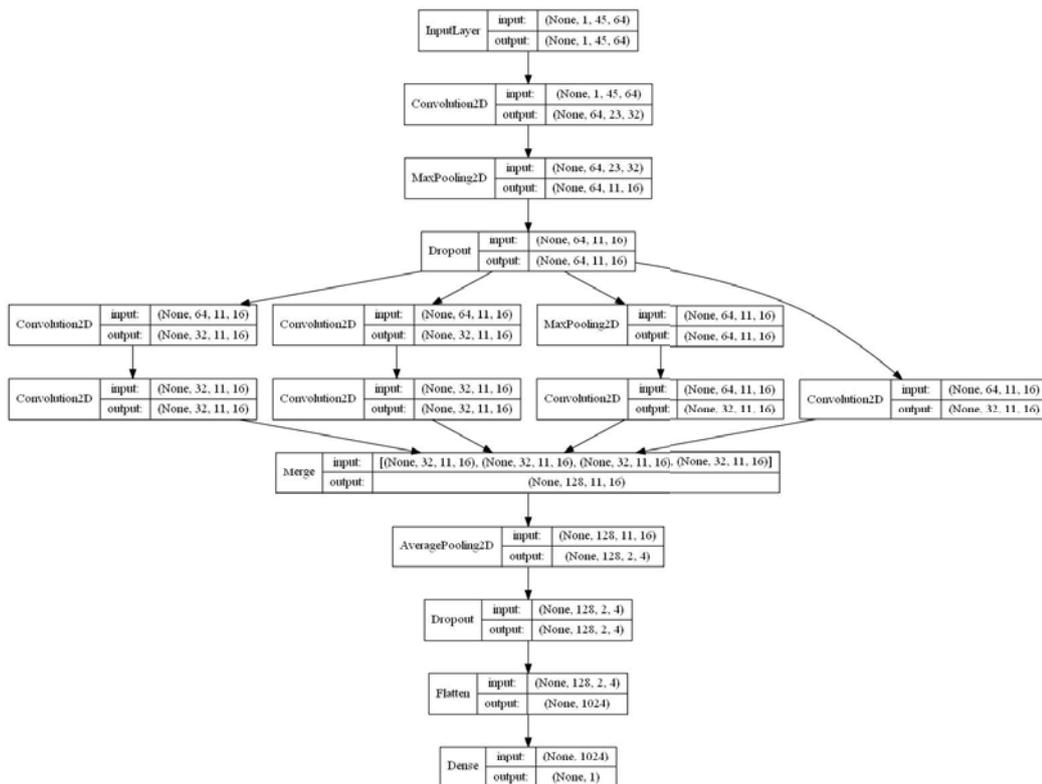


Figura E.8: Modelo basado en el módulo Inception para los mapas HSV y HSL (Fuente propia)

E.2.5 Modelo basado en la combinación de un Residual Block y un módulo Inception

Para este modelo se ha utilizado un Residual block y un Módulo Inception para poder observar como evoluciona su entrenamiento. Posee 125505 parámetros de los cuales 64 son no entrenables y pesa 1035 KB. Se puede observar el diagrama de bloques del modelo en la figura E.9. El código se muestra en https://github.com/a-bacilio/Codigo-de-tesis-descarte/blob/master/mapahsl_combinado.py y https://github.com/a-bacilio/Codigo-de-tesis-descarte/blob/master/mapahsv_combinado.py.

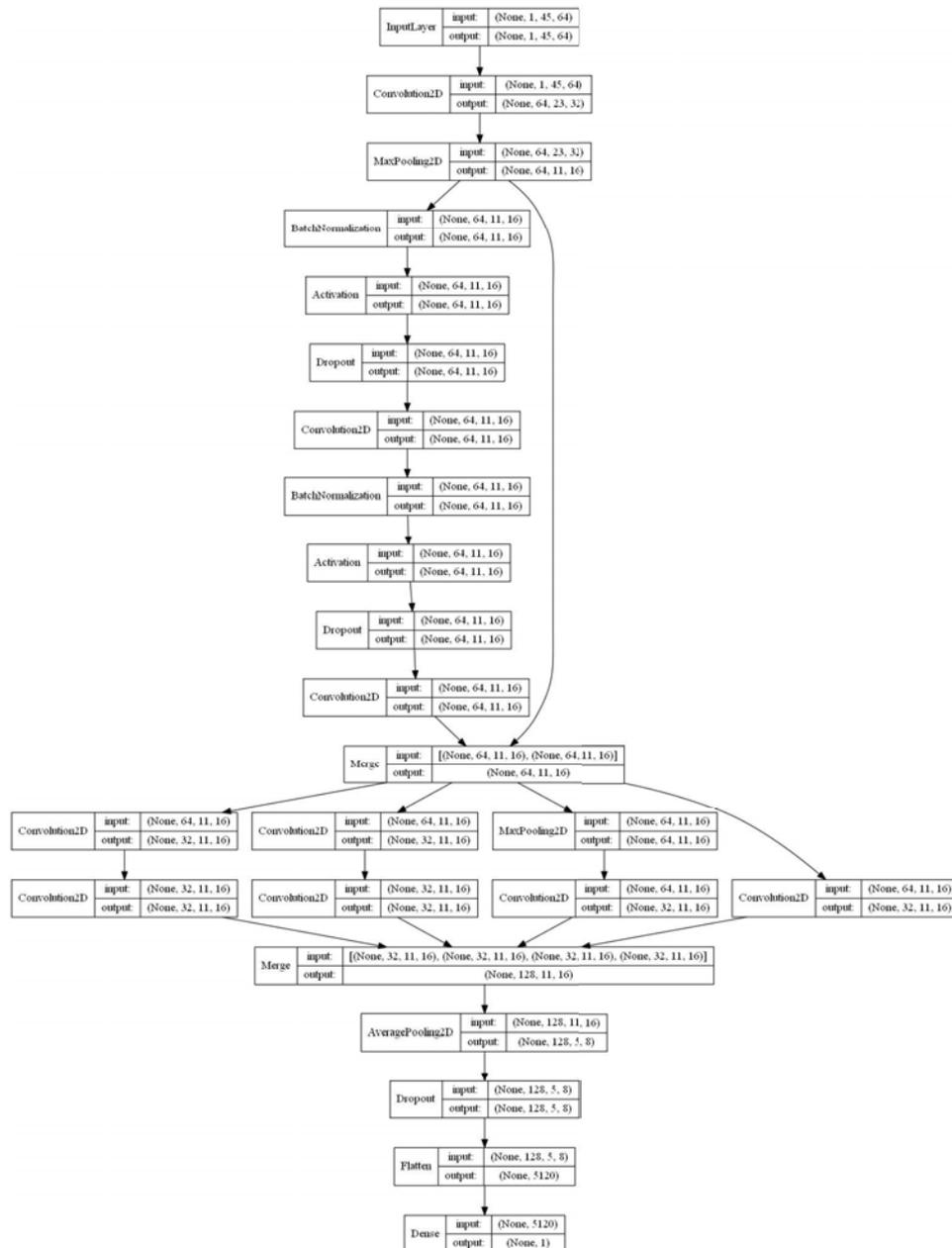


Figura E.9: Modelo combinado para los histogramas 2D de color HSV y HSL (Fuente propia)

E.3 Código para la detección gráfica de frutos de cacao y el descarte de anomalías

Para demostrar la efectividad del uso del modelo, se muestra un ejemplo del uso del modelo para la detección y descarte de anomalías en una planta de cacao. Como se puede observar, existen falsos positivos y falsos negativos en la imagen. Esto muestra que la precisión del sistema no es del 100% . El código se puede observar en <https://github.com/a-bacilio/Codigo-de-tesis-aplicacion/blob/master/main.py>.

Apéndice F

Imágenes de plantas de cacao donde se uso el sistema de detección de cacaos anómalos

A continuación se muestran las imágenes donde se probó el sistema de detección de cacaos anómalos y las medidas de rendimiento por imagen. Se mostraran a continuación, series de 5 imágenes.

- La primera es la orinal obtenida del buscador Google
- La segunda es el resultado del sistema de detección donde la zona azul es zona donde hay cacao no anómalo y la zona roja es donde hay cacao anómalo
- La tercera es la zona donde hay cacao detectado
- La cuarta es la zona donde no hay cacao detectado
- La quinta es donde se muestra la imagen original donde se resalta la zona donde se detecto cacao anómalos.

Asimismo cabe mencionar otra vez la definición de las medidas de la matriz de confusión usados para este sistema combinado.

- Verdaderos Positivos: Cacaos con anomalías detectados como zonas con cacaos anómalos
- Verdaderos Negativos: Cacaos sin anomalías detectados como zonas con cacaos no anómalos
- Falsos Positivos: Cacaos o no cacaos detectados como zonas con cacaos anómalos
- Falsos Negativos: Cacaos o no cacaos anómalos detectados como zonas con cacaos no anómalos y cacaos en zonas donde no se detecto cacao

De este modo se inicia las pruebas.

Caso 1

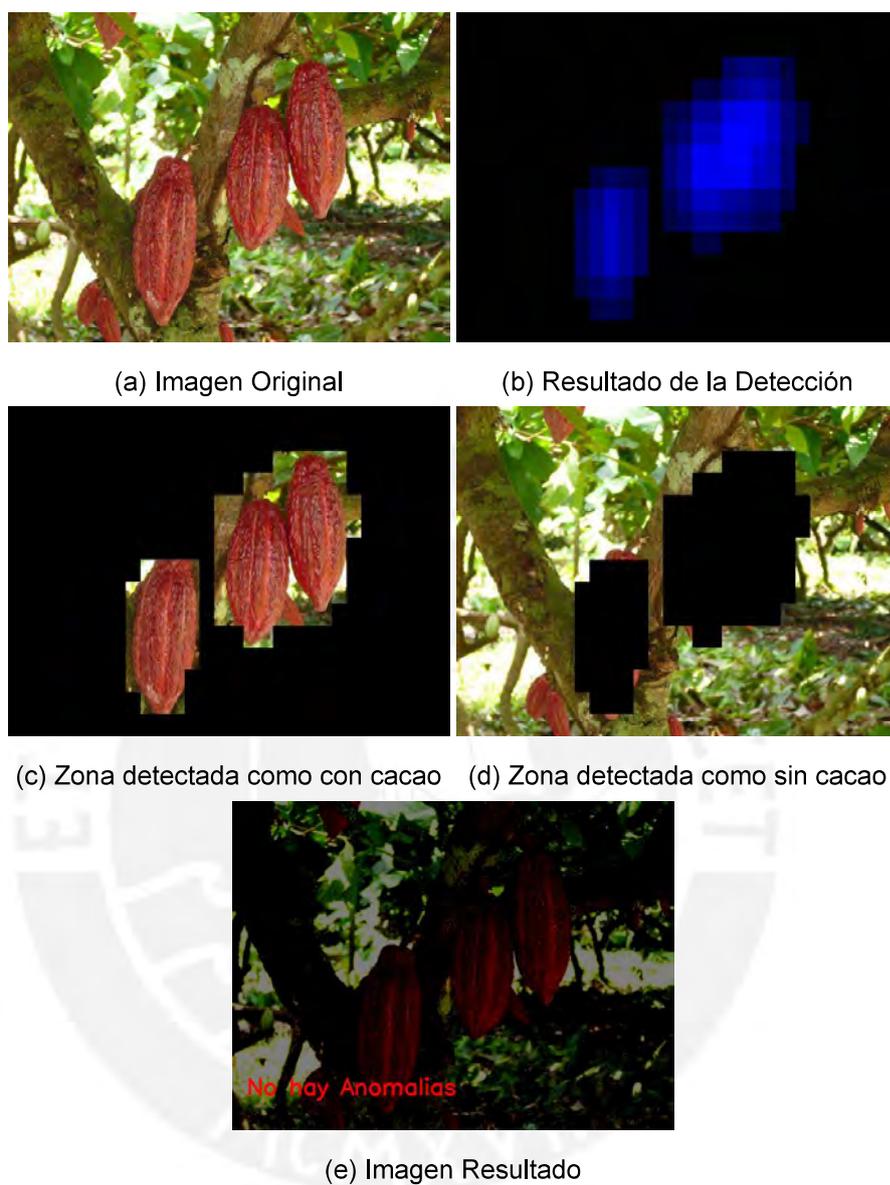


Figura F.1: Caso 1

Tabla F.1: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	43%
Verdaderos negativos	3	Ratio de Error	57%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	4	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 2

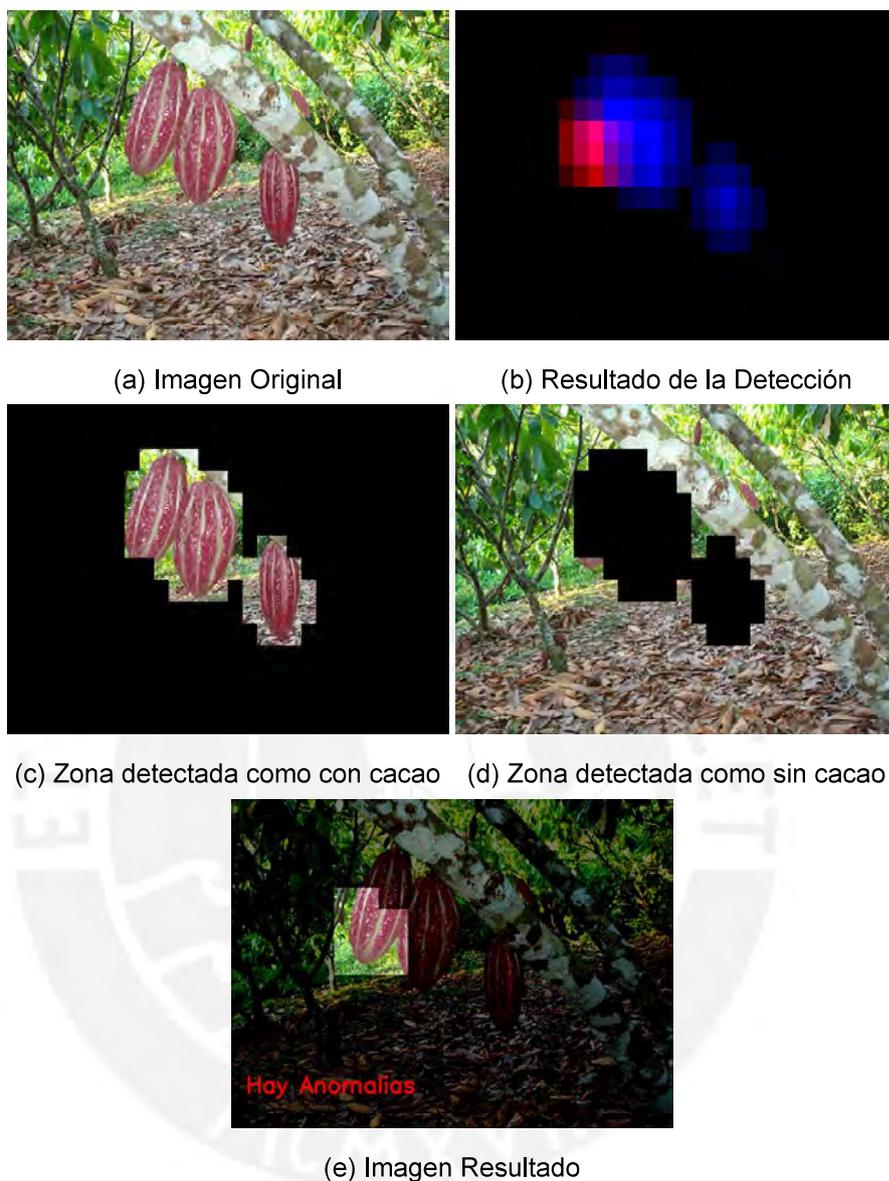


Figura F.2: Caso 2

Tabla F.2: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	67%
Verdaderos negativos	2	Ratio de Error	33%
Falsos positivos	1	Sensitividad	0%
Falsos negativos	0	Especificidad	67%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	33%

Caso 3

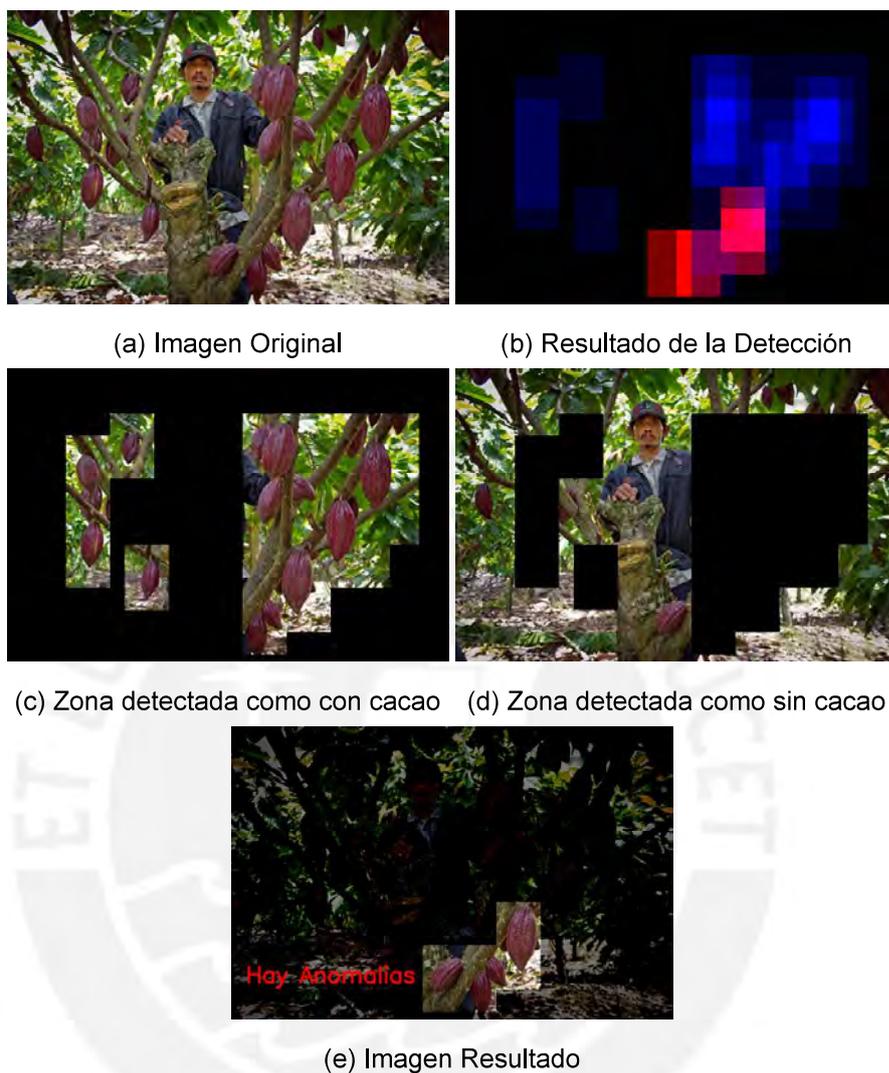


Figura F.3: Caso 3

Tabla F.3: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	57%
Verdaderos negativos	12	Ratio de Error	43%
Falsos positivos	4	Sensitividad	0%
Falsos negativos	5	Especificidad	75%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	25%

Caso 4

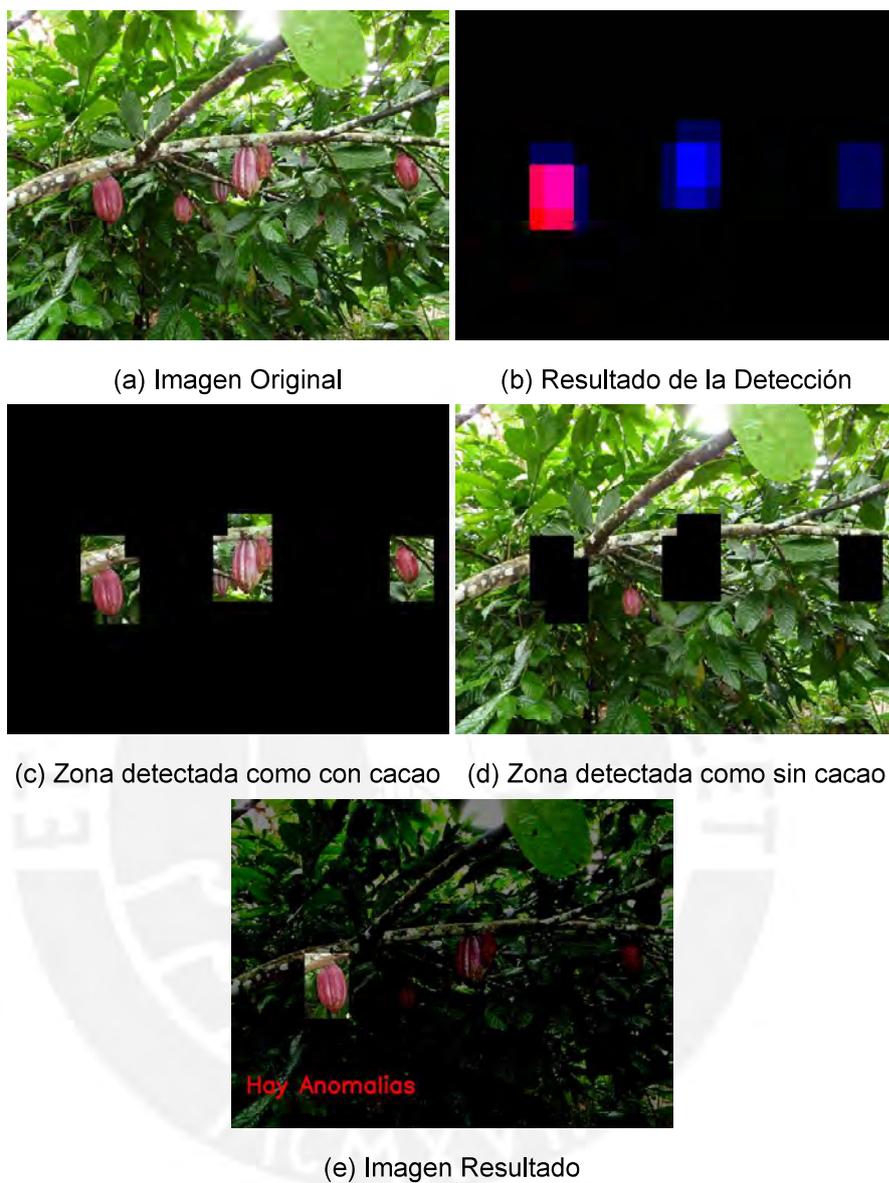


Figura F.4: Caso 4

Tabla F.4: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	67%
Verdaderos negativos	4	Ratio de Error	33%
Falsos positivos	1	Sensitividad	0%
Falsos negativos	1	Especificidad	80%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	20%

Caso 5

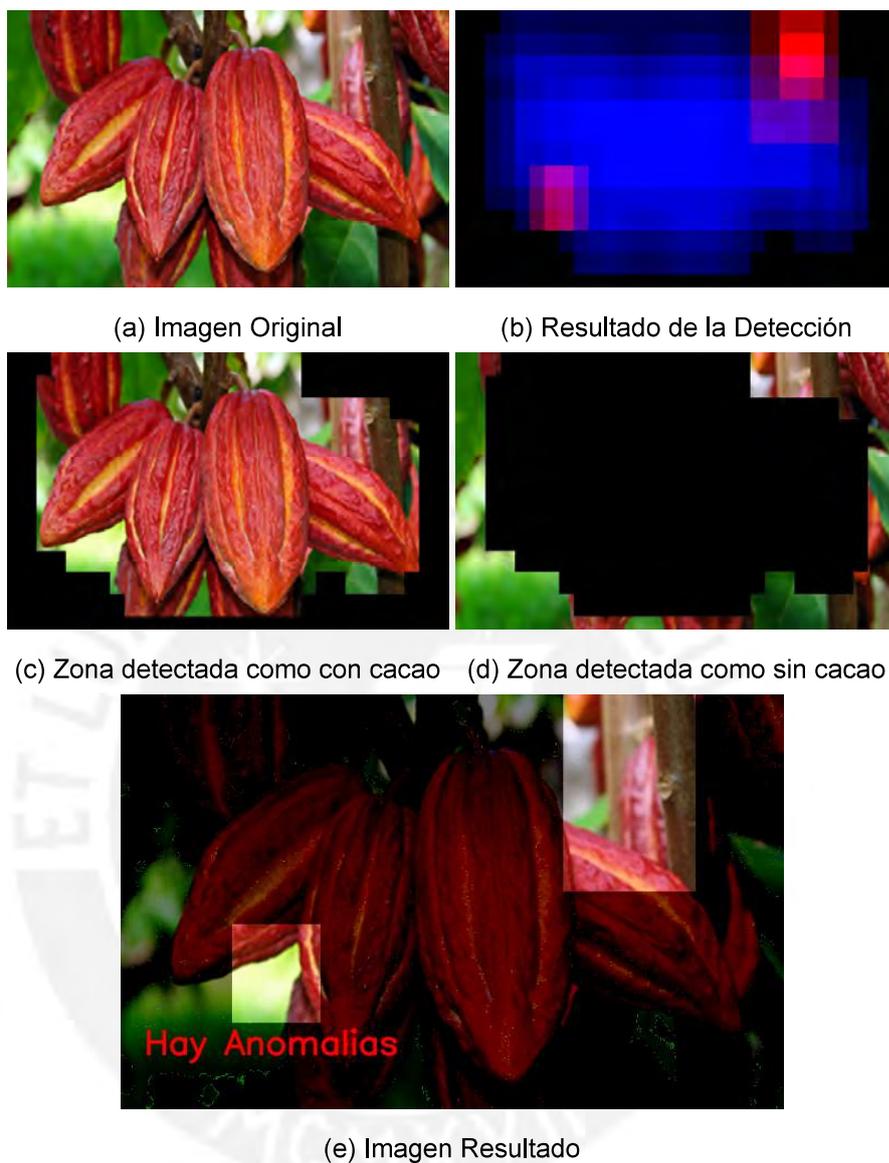


Figura F.5: Caso 5

Tabla F.5: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	56%
Verdaderos negativos	5	Ratio de Error	44%
Falsos positivos	3	Sensitividad	0%
Falsos negativos	1	Especificidad	63%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	38%

Caso 6

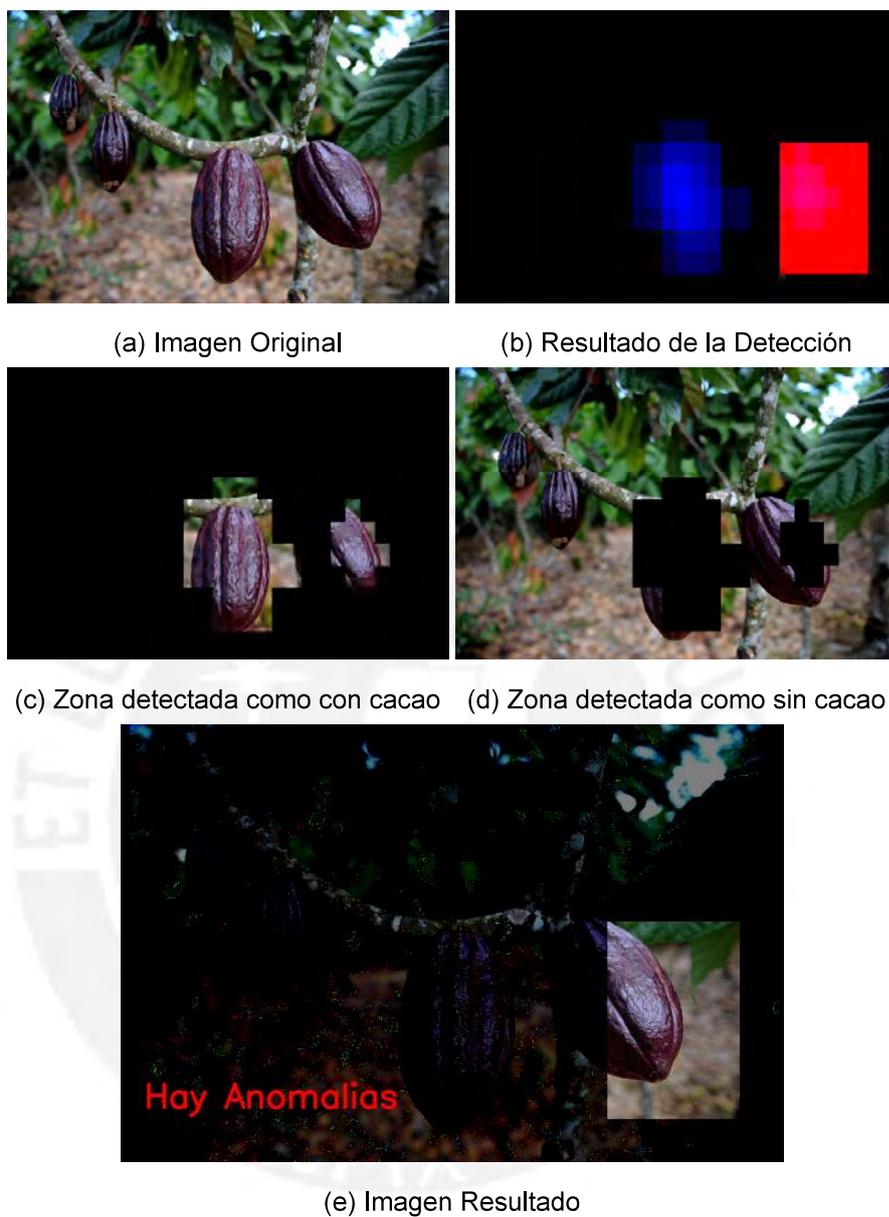


Figura F.6: Caso 6

Tabla F.6: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	25%
Verdaderos negativos	1	Ratio de Error	75%
Falsos positivos	1	Sensitividad	0%
Falsos negativos	2	Especificidad	50%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	50%

Caso 7

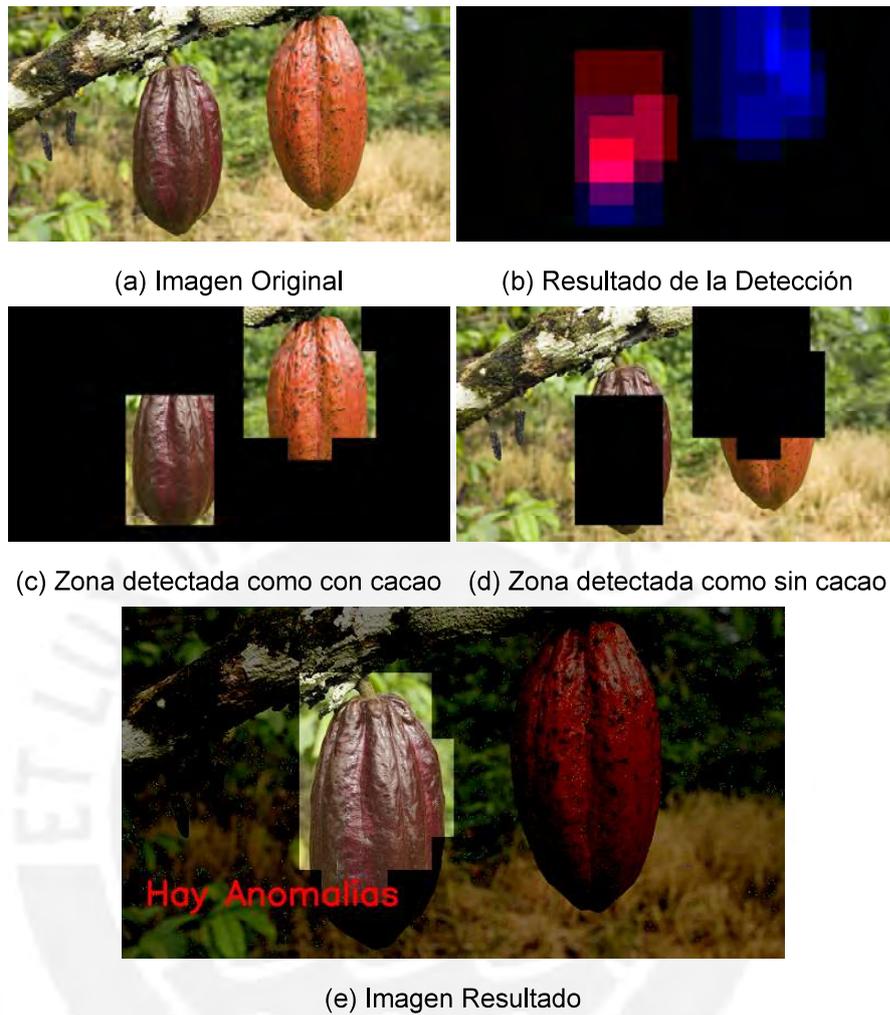


Figura F.7: Caso 7

Tabla F.7: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	73%
Verdaderos negativos	8	Ratio de Error	27%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	3	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 8

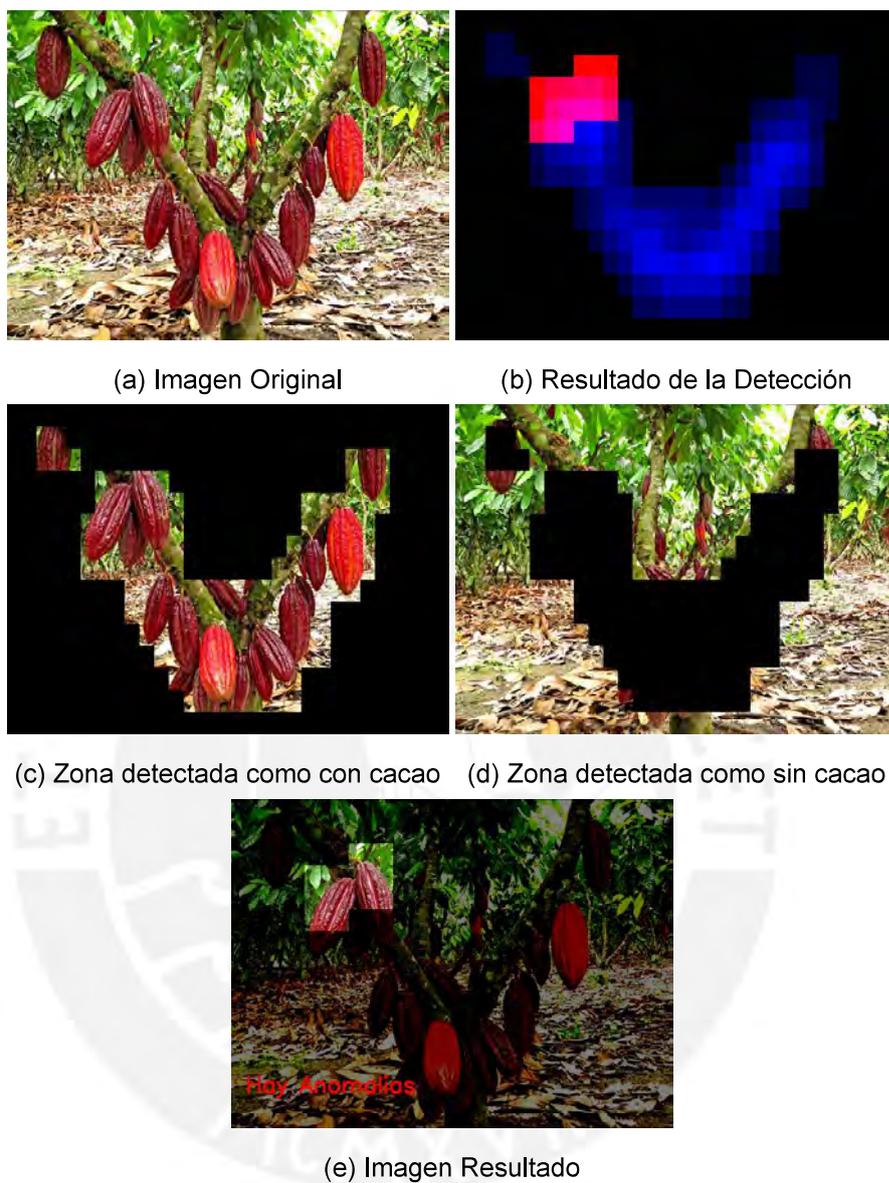


Figura F.8: Caso 8

Tabla F.8: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	75%
Verdaderos negativos	15	Ratio de Error	25%
Falsos positivos	3	Sensitividad	0%
Falsos negativos	2	Especificidad	83%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	17%

Caso 9

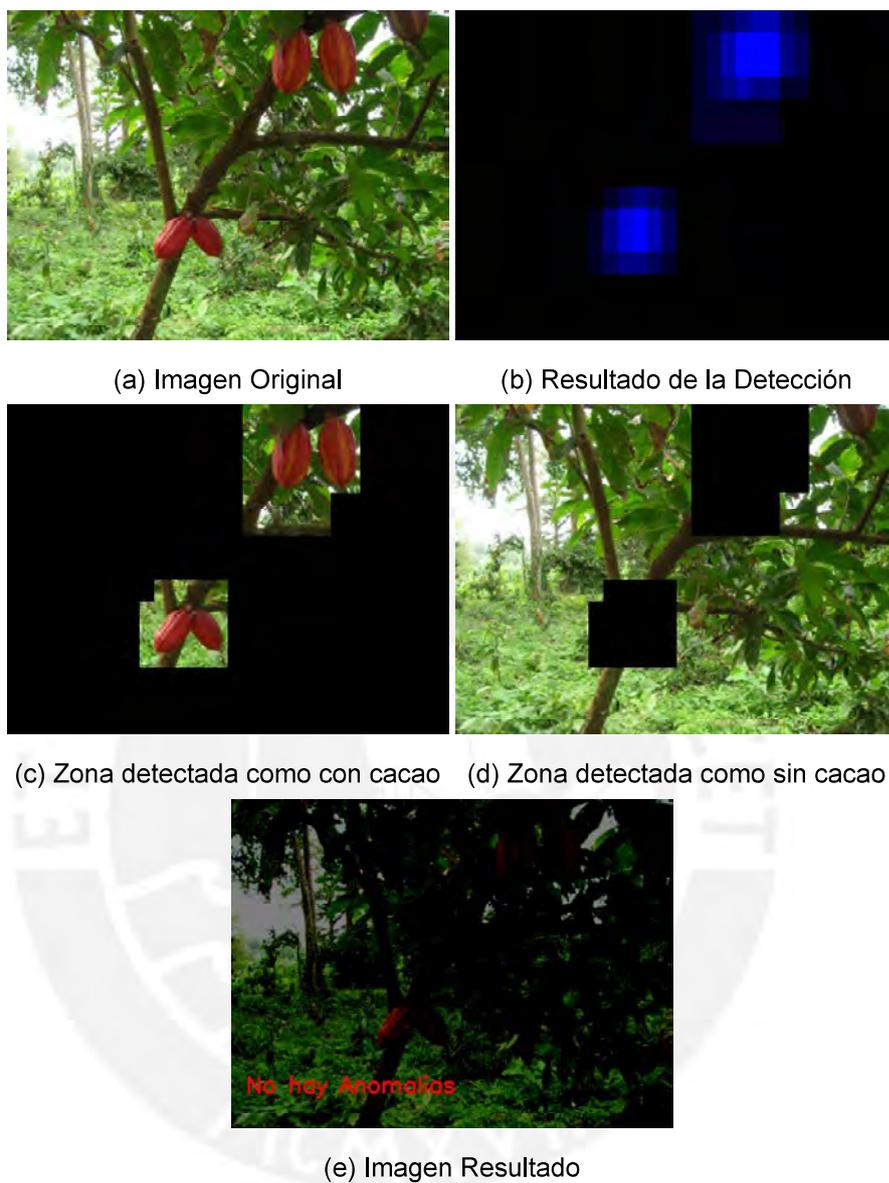


Figura F.9: Caso 9

Tabla F.9: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	67%
Verdaderos negativos	4	Ratio de Error	33%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	2	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 10

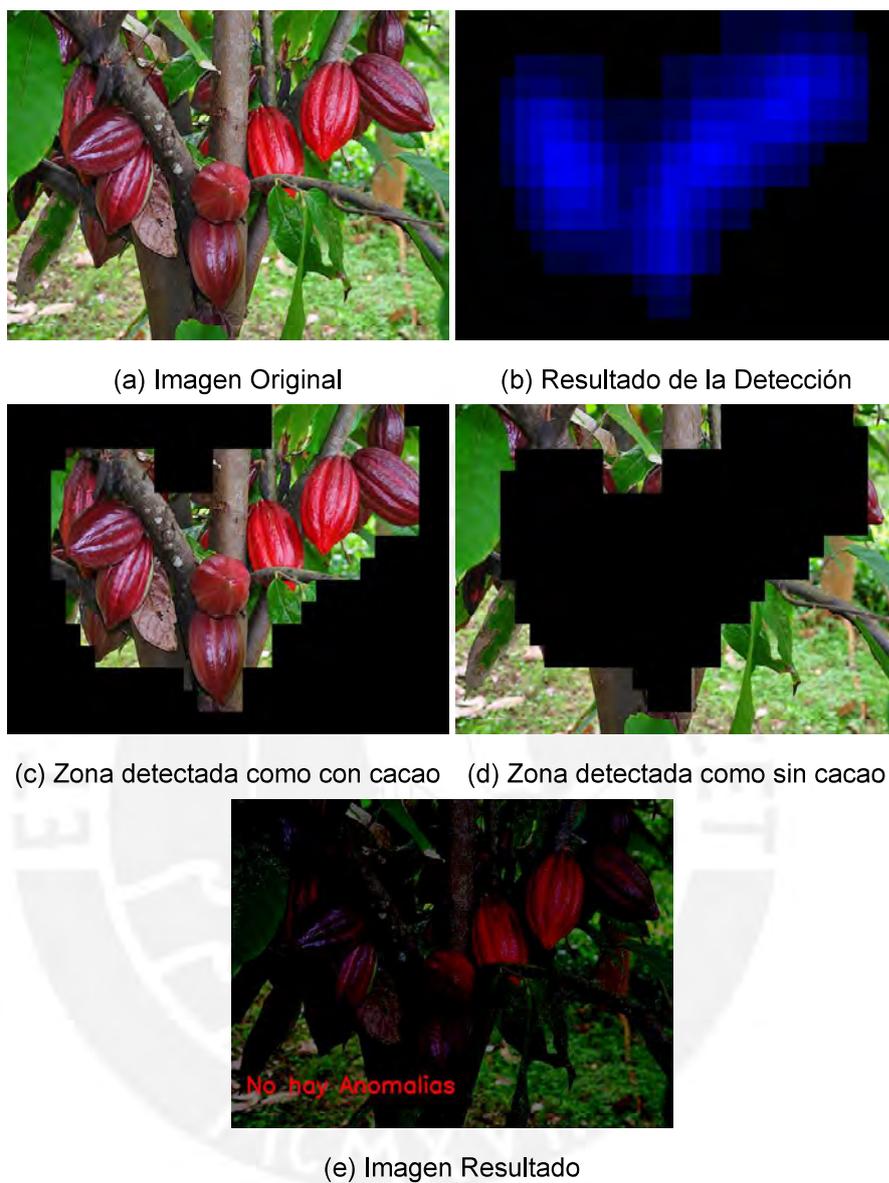


Figura F.10: Caso 10

Tabla F.10: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	100%
Verdaderos negativos	10	Ratio de Error	0%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	0	Especificidad	1%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 11

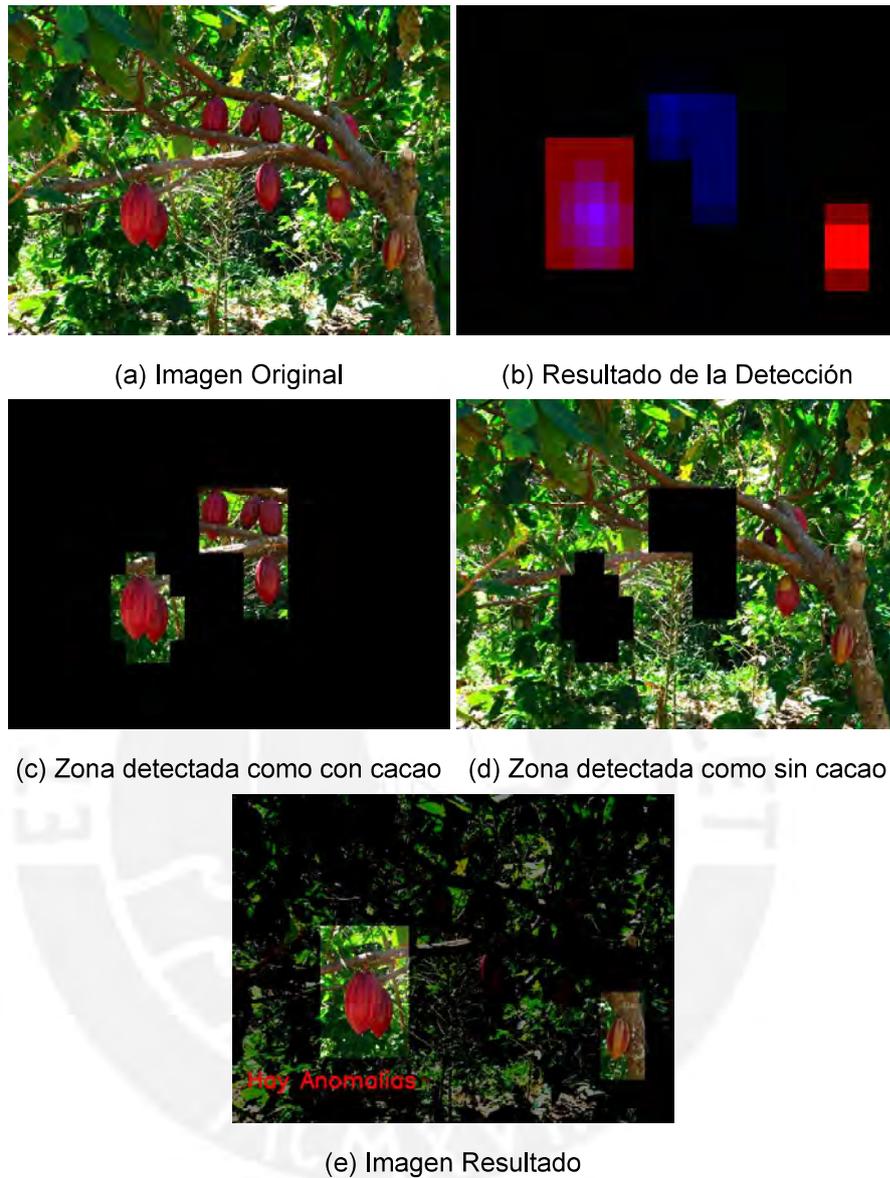
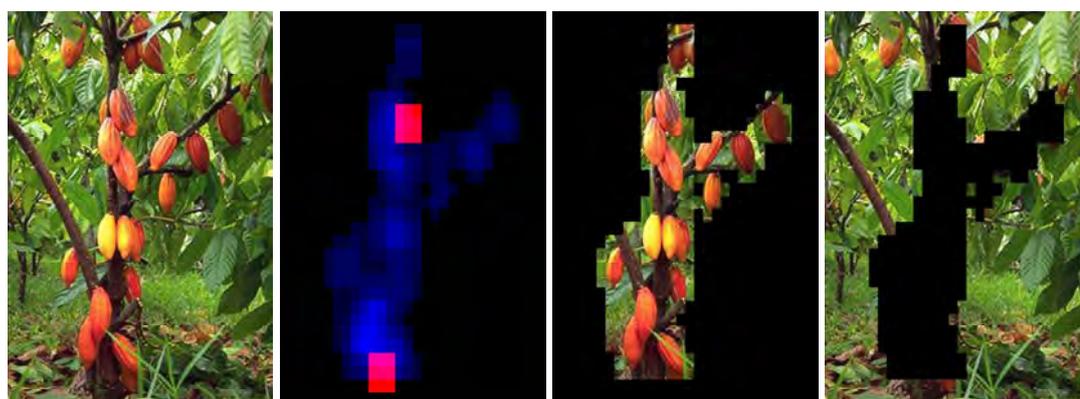


Figura F.11: Caso 11

Tabla F.11: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	40%
Verdaderos negativos	4	Ratio de Error	60%
Falsos positivos	2	Sensitividad	0%
Falsos negativos	4	Especificidad	67%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	33%

Caso 12

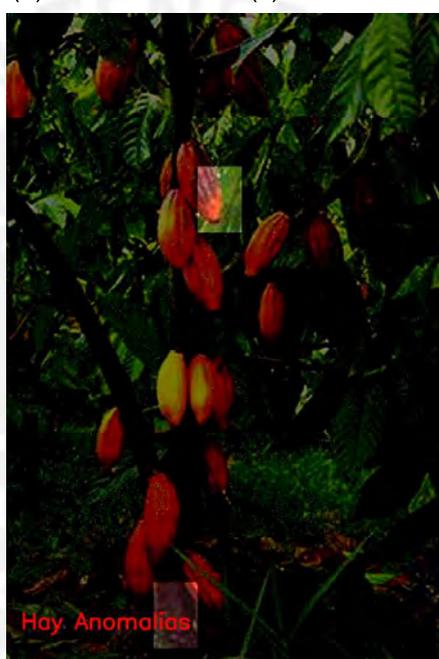


(a) Imagen Original

(b) Detección

(c) Zona con cacao

(d) Zona sin cacao



(e) Imagen Resultado

Figura F.12: Caso 12

Tabla F.12: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	70%
Verdaderos negativos	14	Ratio de Error	30%
Falsos positivos	3	Sensitividad	0%
Falsos negativos	3	Especificidad	82%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	18%

Caso 13

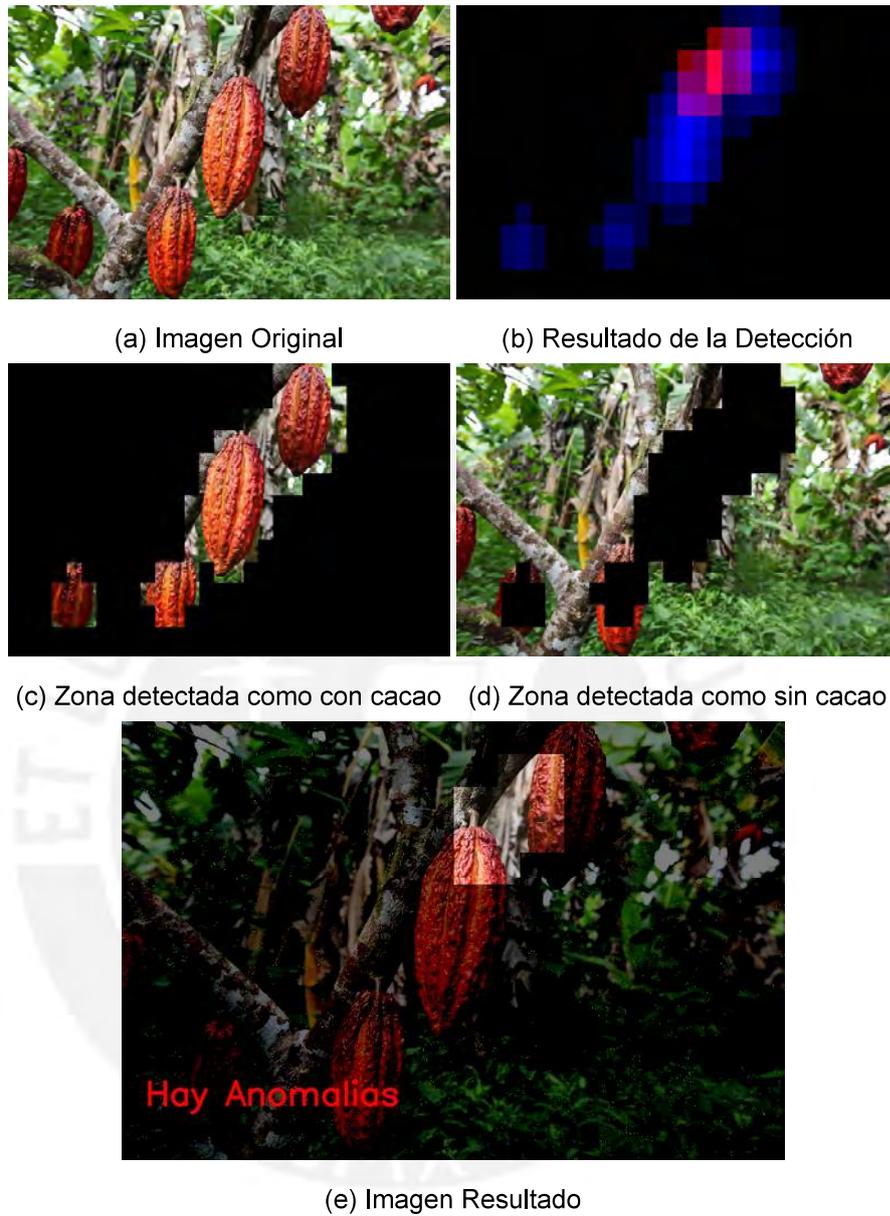


Figura F.13: Caso 13

Tabla F.13: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	40%
Verdaderos negativos	2	Ratio de Error	60%
Falsos positivos	2	Sensitividad	0%
Falsos negativos	1	Especificidad	50%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	50%

Caso 14

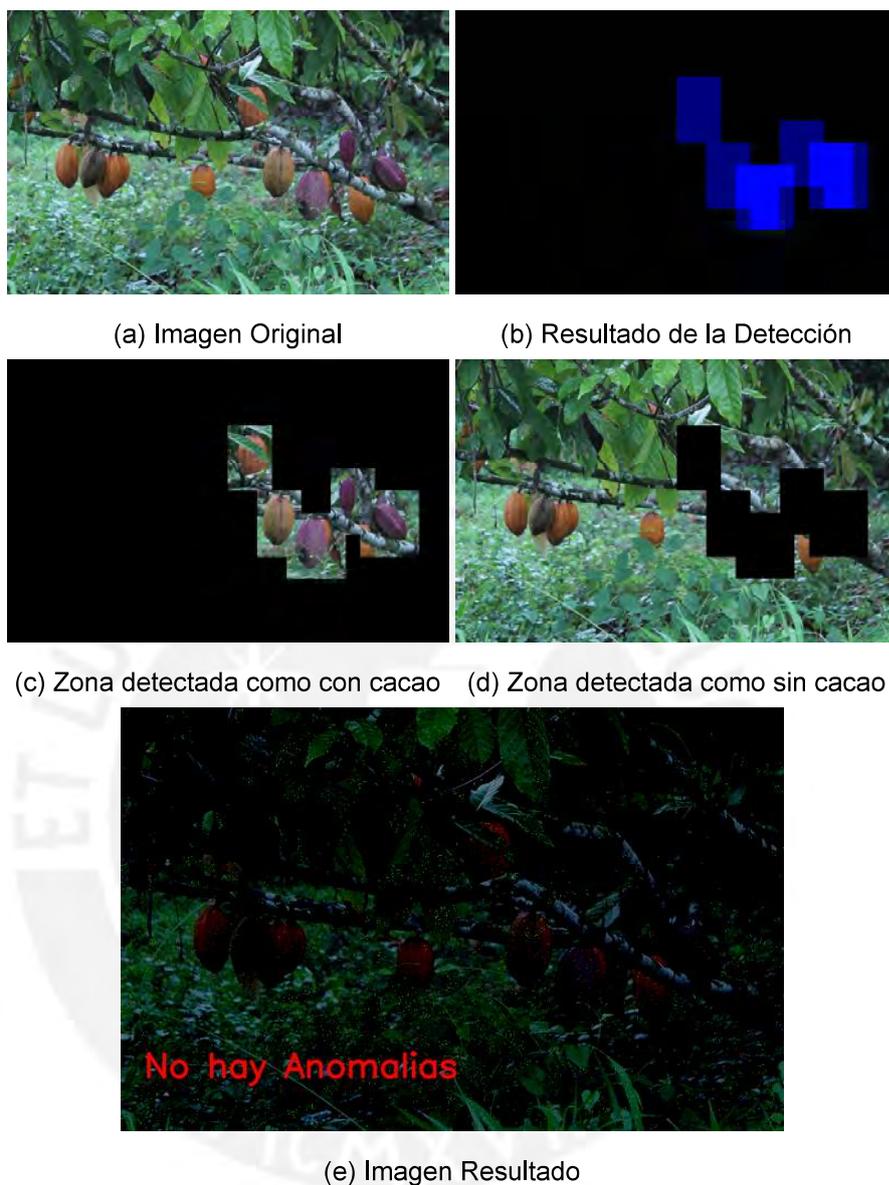


Figura F.14: Caso 14

Tabla F.14: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	40%
Verdaderos negativos	4	Ratio de Error	60%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	6	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 15

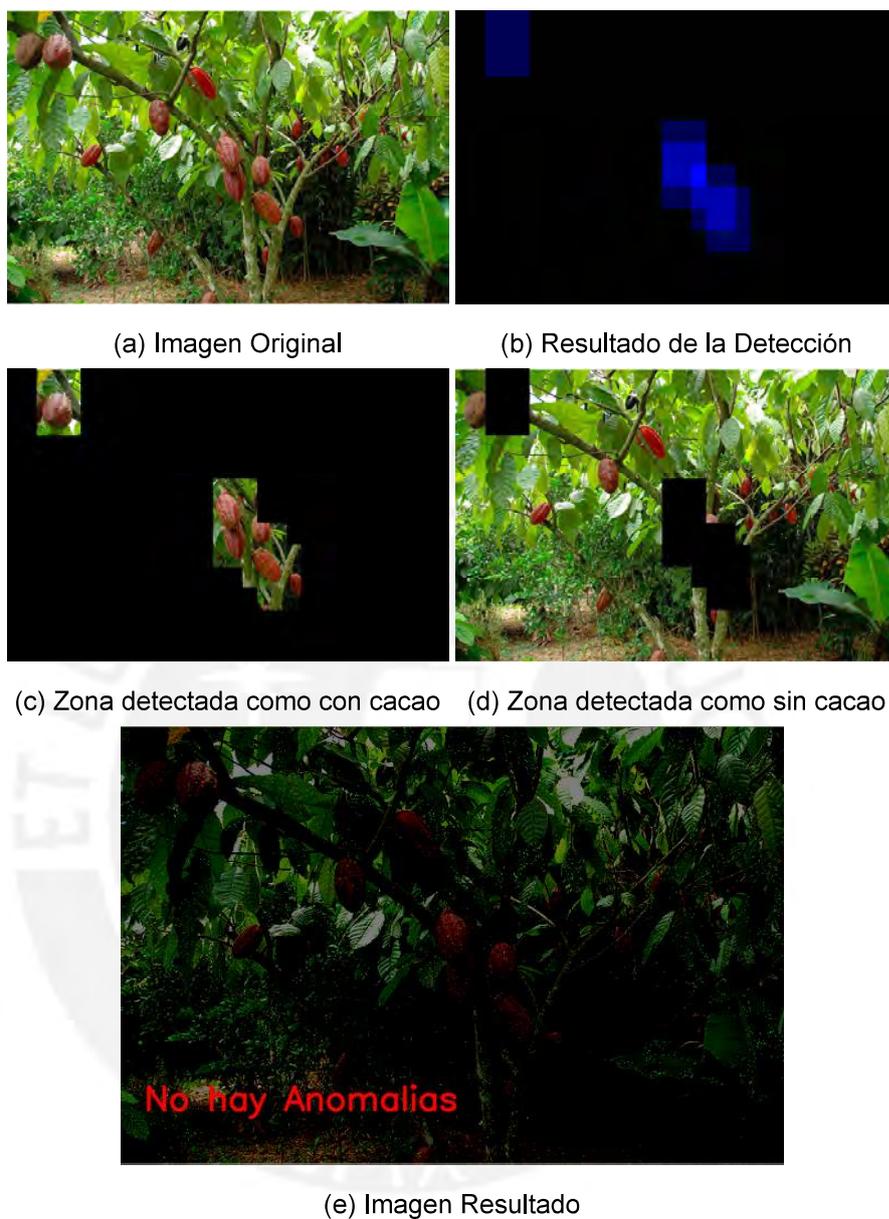


Figura F.15: Caso 15

Tabla F.15: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	36%
Verdaderos negativos	5	Ratio de Error	64%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	9	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 16

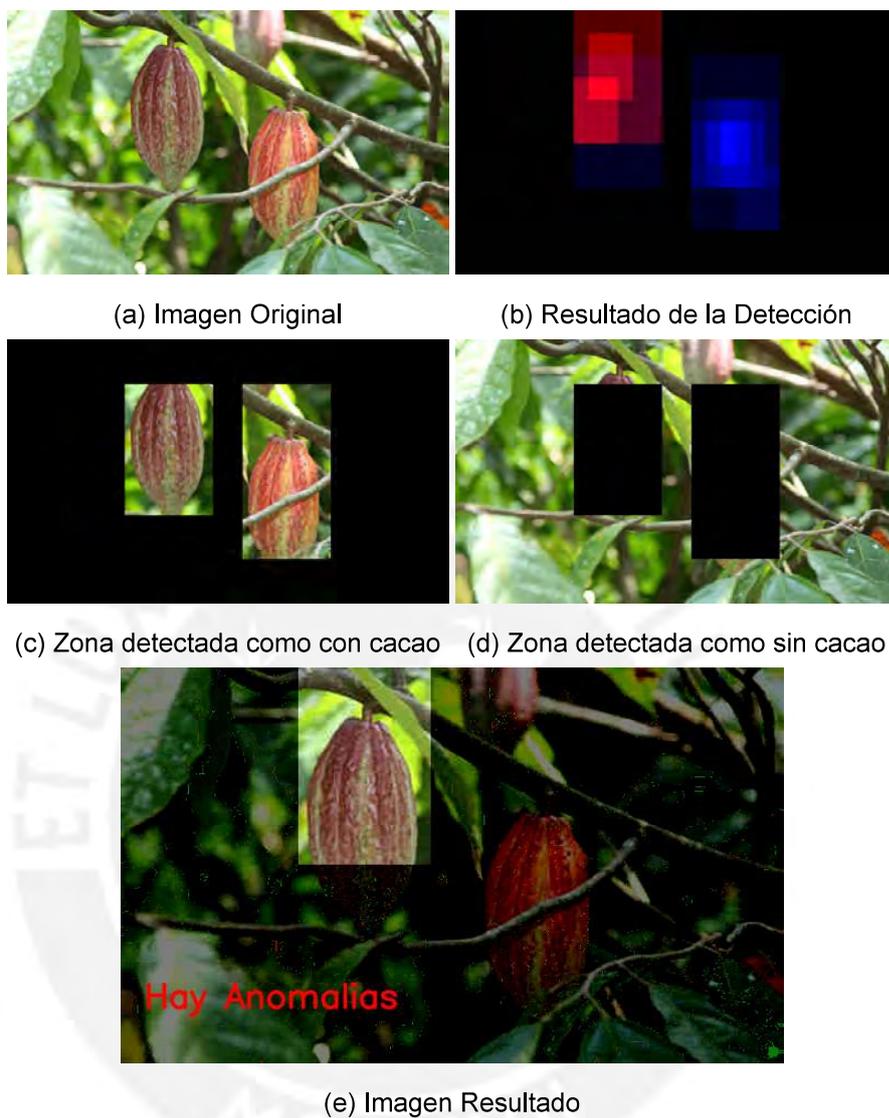


Figura F.16: Caso 16

Tabla F.16: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	33%
Verdaderos negativos	1	Ratio de Error	67%
Falsos positivos	1	Sensitividad	0%
Falsos negativos	1	Especificidad	50%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	50%

Caso 17

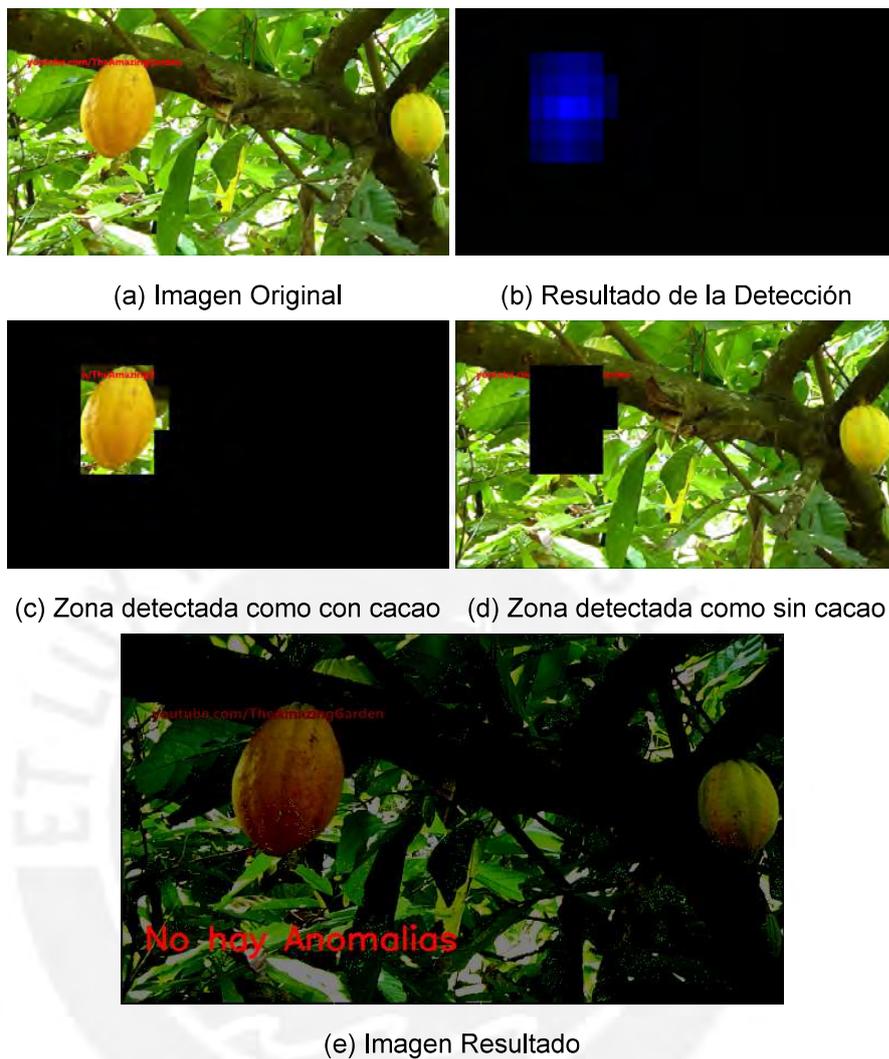
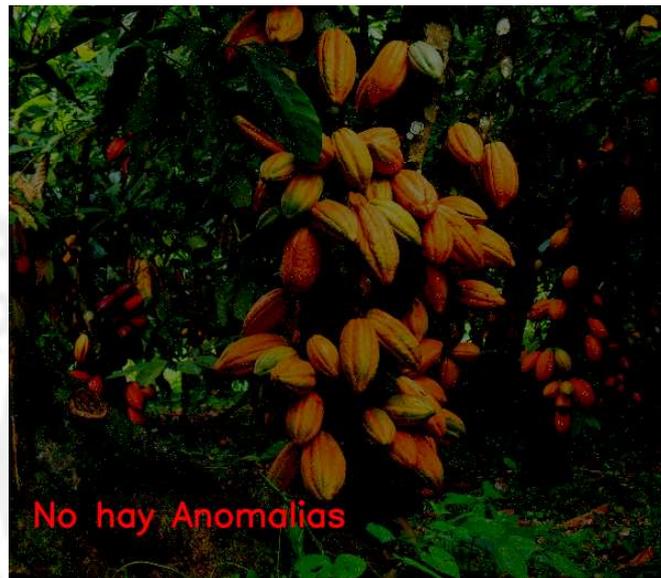
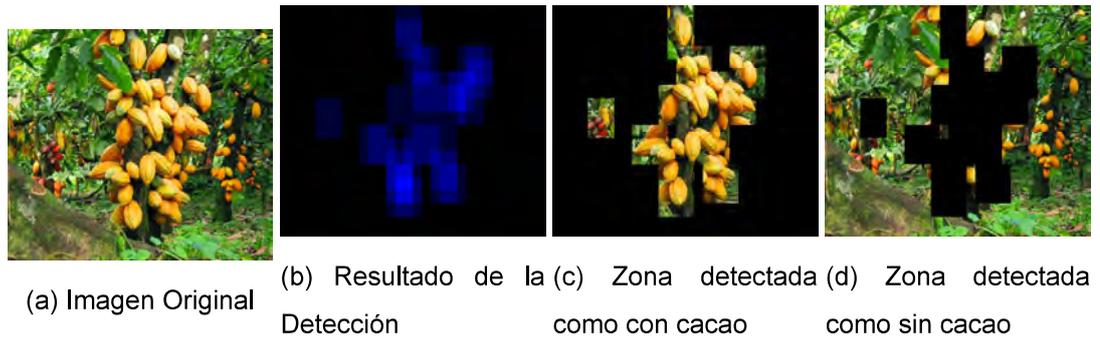


Figura F.17: Caso 17

Tabla F.17: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	50%
Verdaderos negativos	1	Ratio de Error	50%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	1	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 18



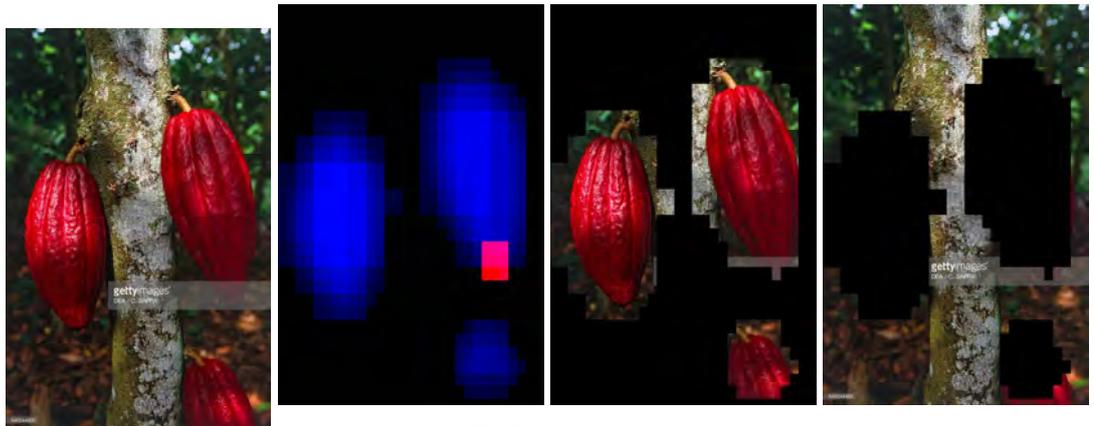
(e) Imagen Resultado

Figura F.18: Caso 18

Tabla F.18: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	62%
Verdaderos negativos	51	Ratio de Error	38%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	31	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 19



(a) Imagen Original

(b) Resultado de la
Detección

(c) Zona detectada
como con cacao

(d) Zona detectada
como sin cacao



(e) Imagen Resultado

Figura F.19: Caso 19

Tabla F.19: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	67%
Verdaderos negativos	2	Ratio de Error	33%
Falsos positivos	1	Sensitividad	0%
Falsos negativos	0	Especificidad	67%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	33%

Caso 20

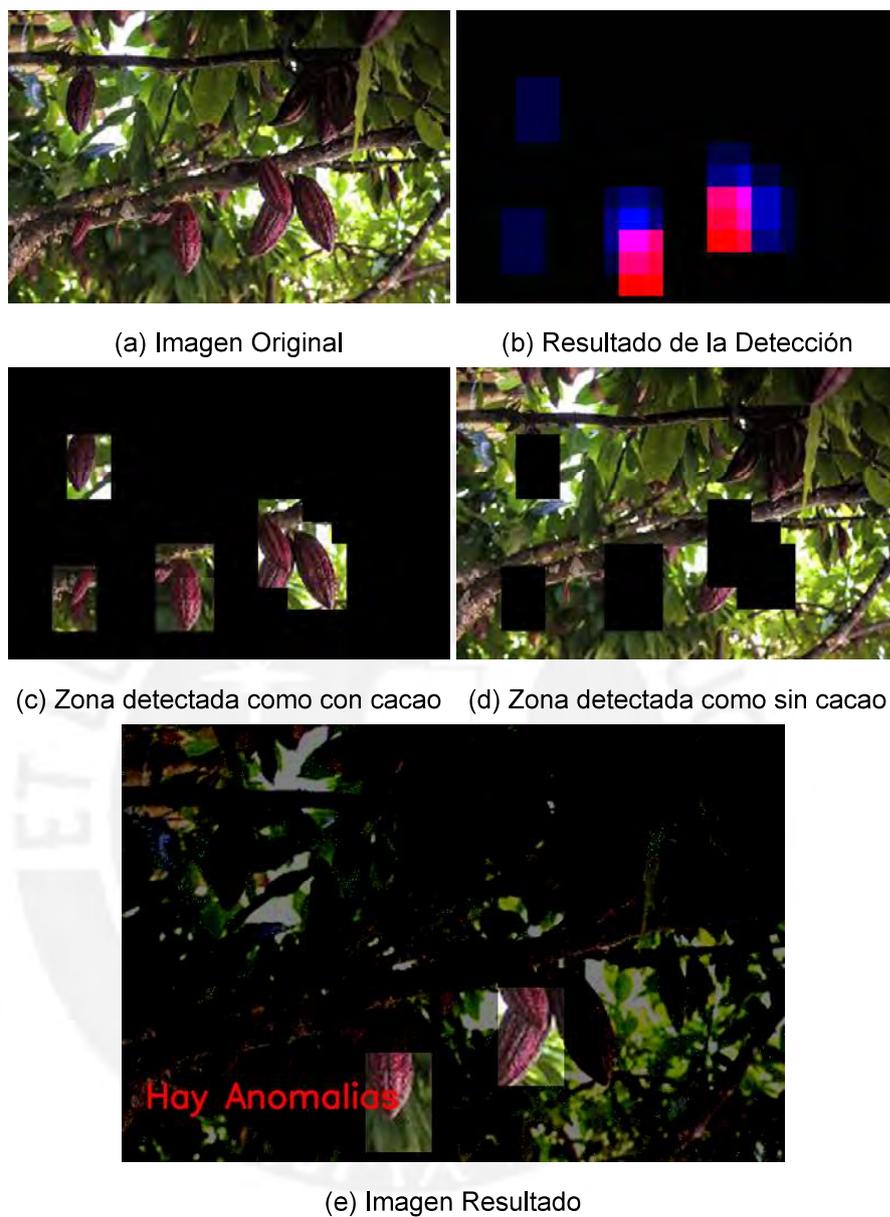


Figura F.20: Caso 20

Tabla F.20: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	27%
Verdaderos negativos	3	Ratio de Error	73%
Falsos positivos	2	Sensitividad	0%
Falsos negativos	6	Especificidad	60%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	40%

Caso 21

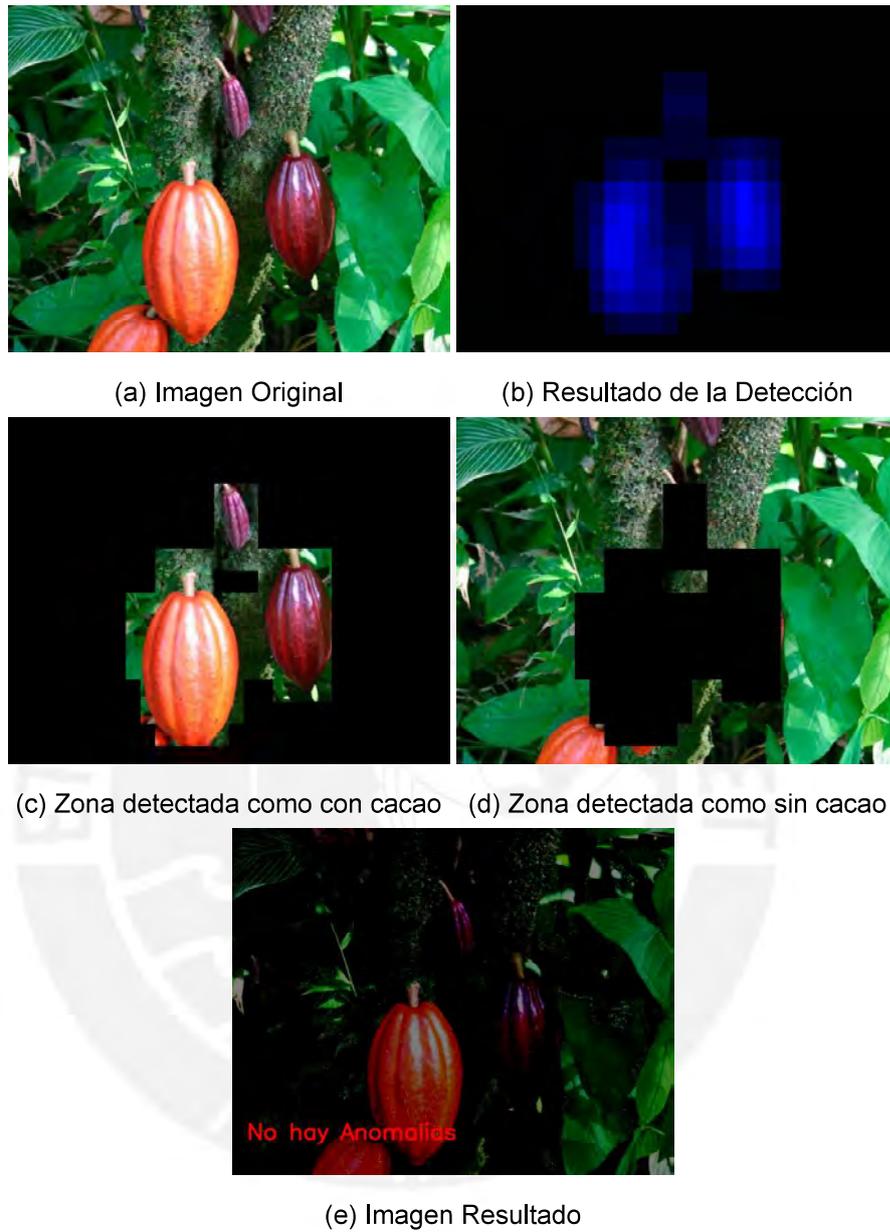


Figura F.21: Caso 21

Tabla F.21: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	75%
Verdaderos negativos	3	Ratio de Error	25%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	1	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 22

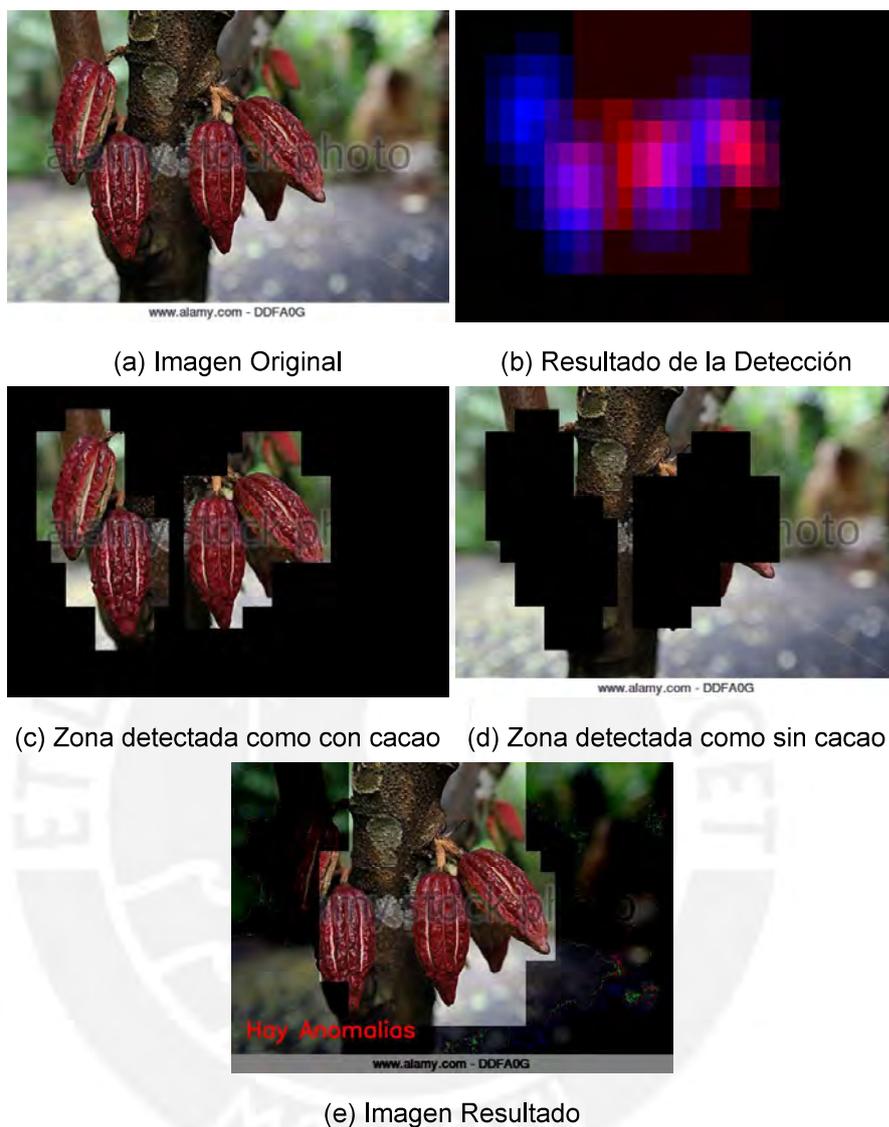


Figura F.22: Caso 22

Tabla F.22: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	20%
Verdaderos negativos	1	Ratio de Error	80%
Falsos positivos	4	Sensitividad	0%
Falsos negativos	0	Especificidad	20%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	80%

Caso 23

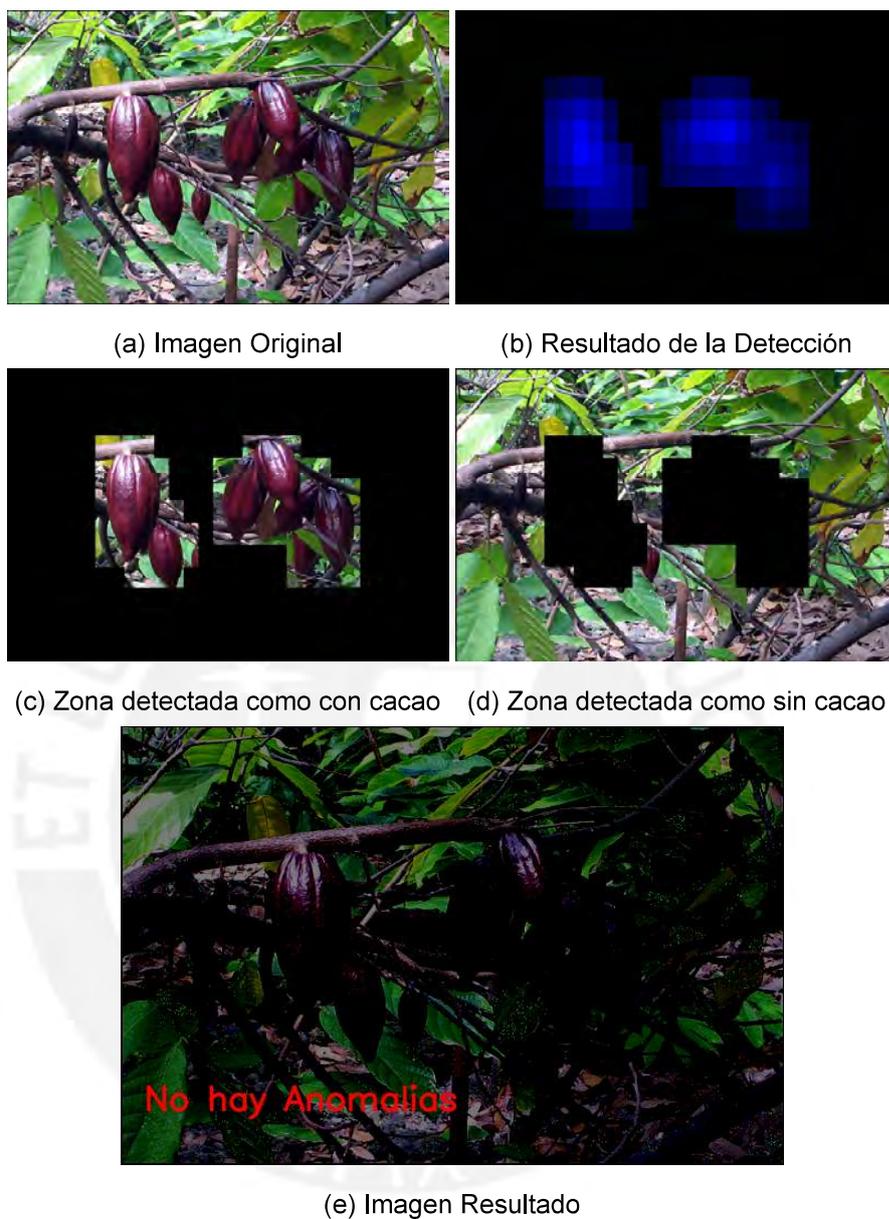


Figura F.23: Caso 23

Tabla F.23: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	88%
Verdaderos negativos	7	Ratio de Error	13%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	1	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 24

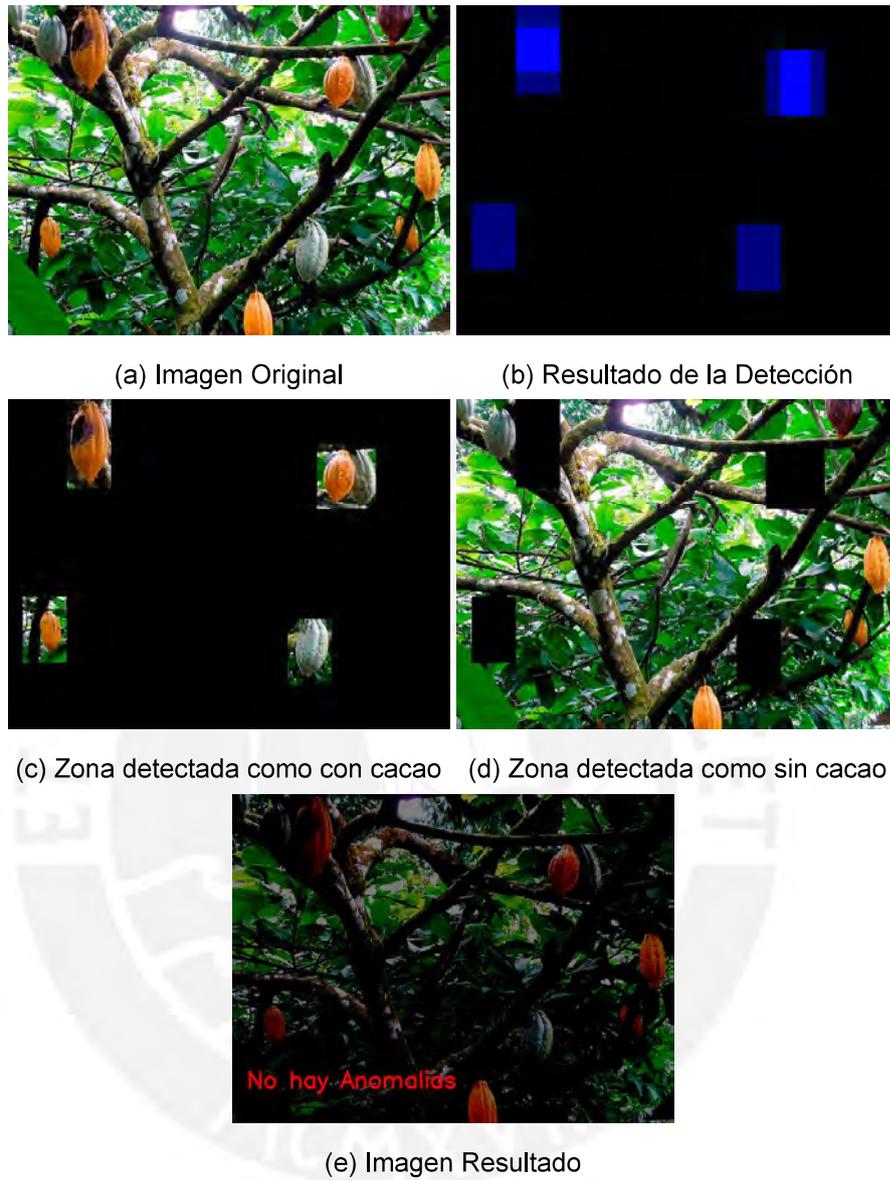


Figura F.24: Caso 24

Tabla F.24: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	33%
Verdaderos negativos	3	Ratio de Error	67%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	6	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 25

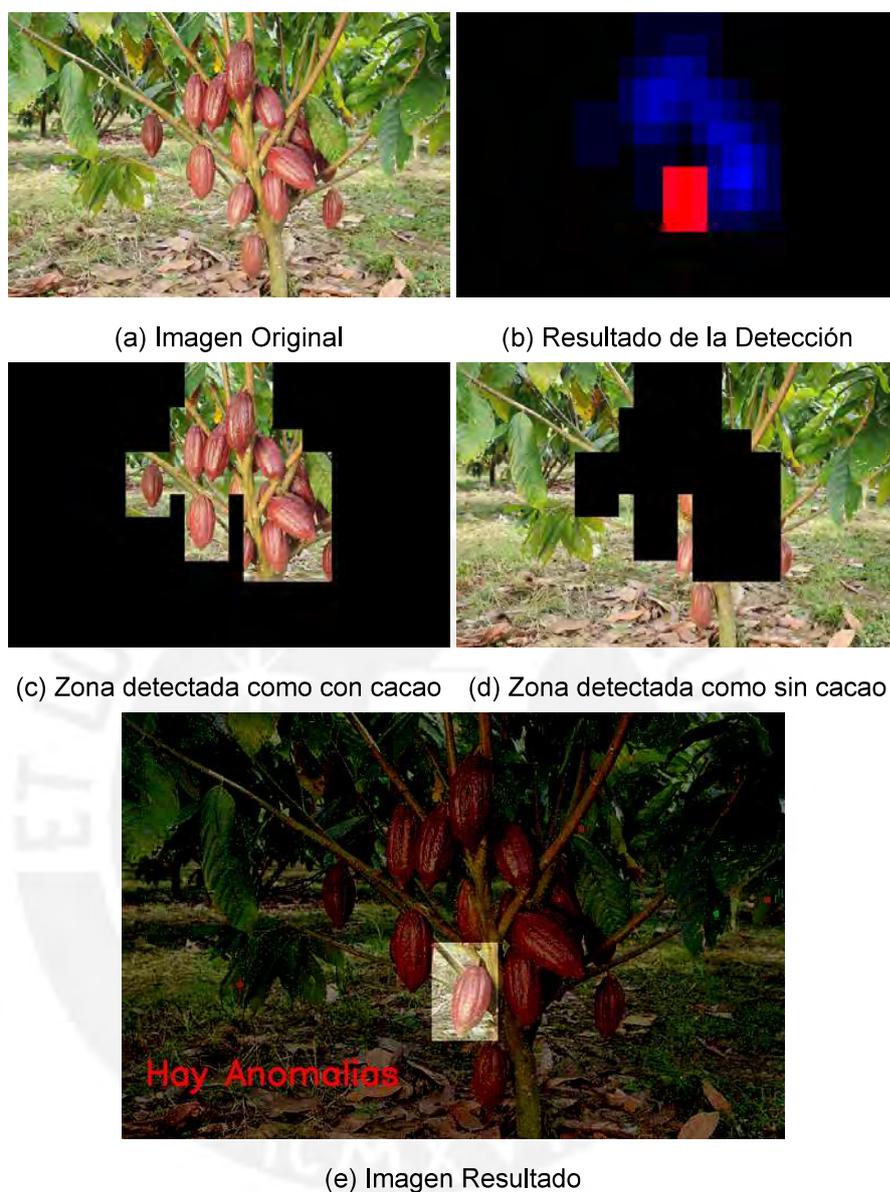


Figura F.25: Caso 25

Tabla F.25: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	85%
Verdaderos negativos	11	Ratio de Error	15%
Falsos positivos	1	Sensitividad	0%
Falsos negativos	1	Especificidad	92%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	8%

Caso 26



Figura F.26: Caso 26

Tabla F.26: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	67%
Verdaderos negativos	4	Ratio de Error	33%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	2	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 27

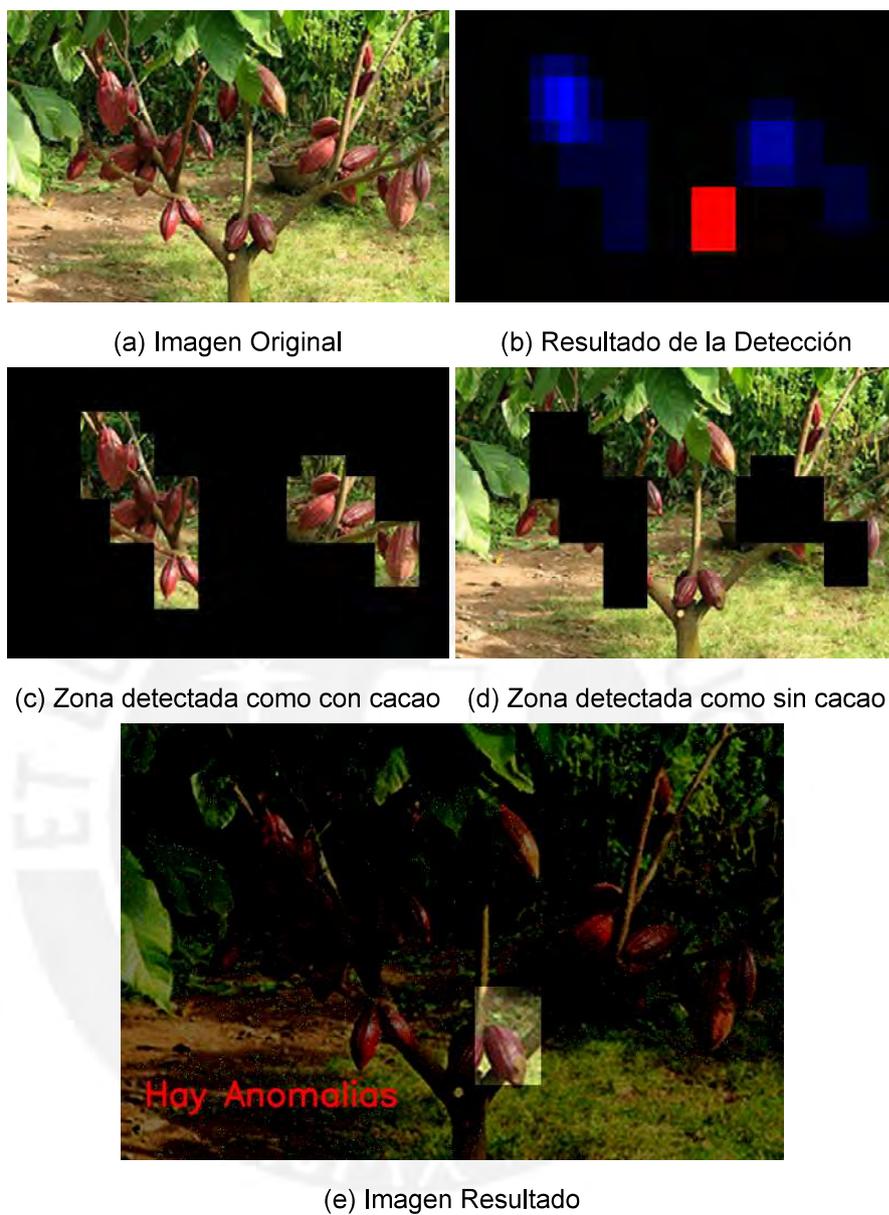


Figura F.27: Caso 27

Tabla F.27: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	55%
Verdaderos negativos	12	Ratio de Error	45%
Falsos positivos	2	Sensitividad	0%
Falsos negativos	8	Especificidad	86%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	14%

Caso 28

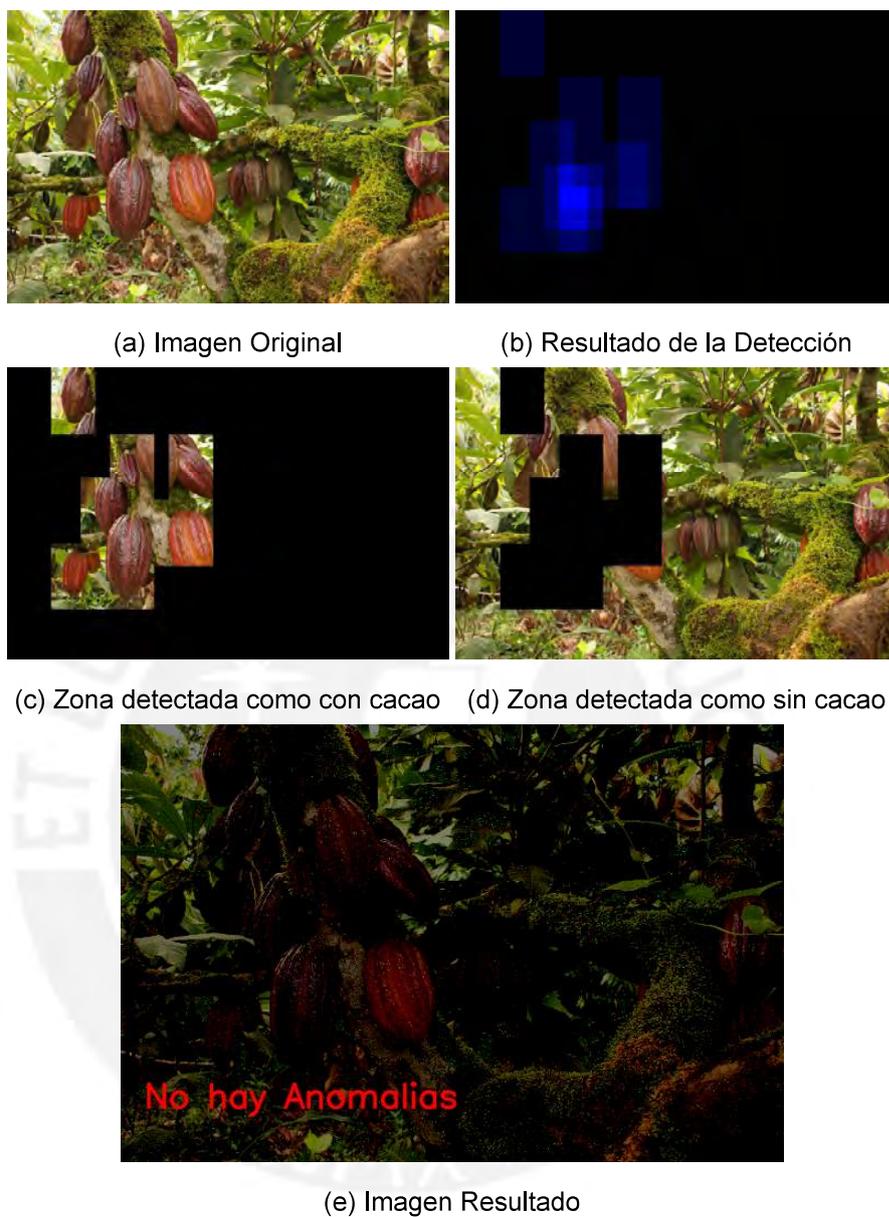


Figura F.28: Caso 28

Tabla F.28: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	53%
Verdaderos negativos	8	Ratio de Error	47%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	7	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 29

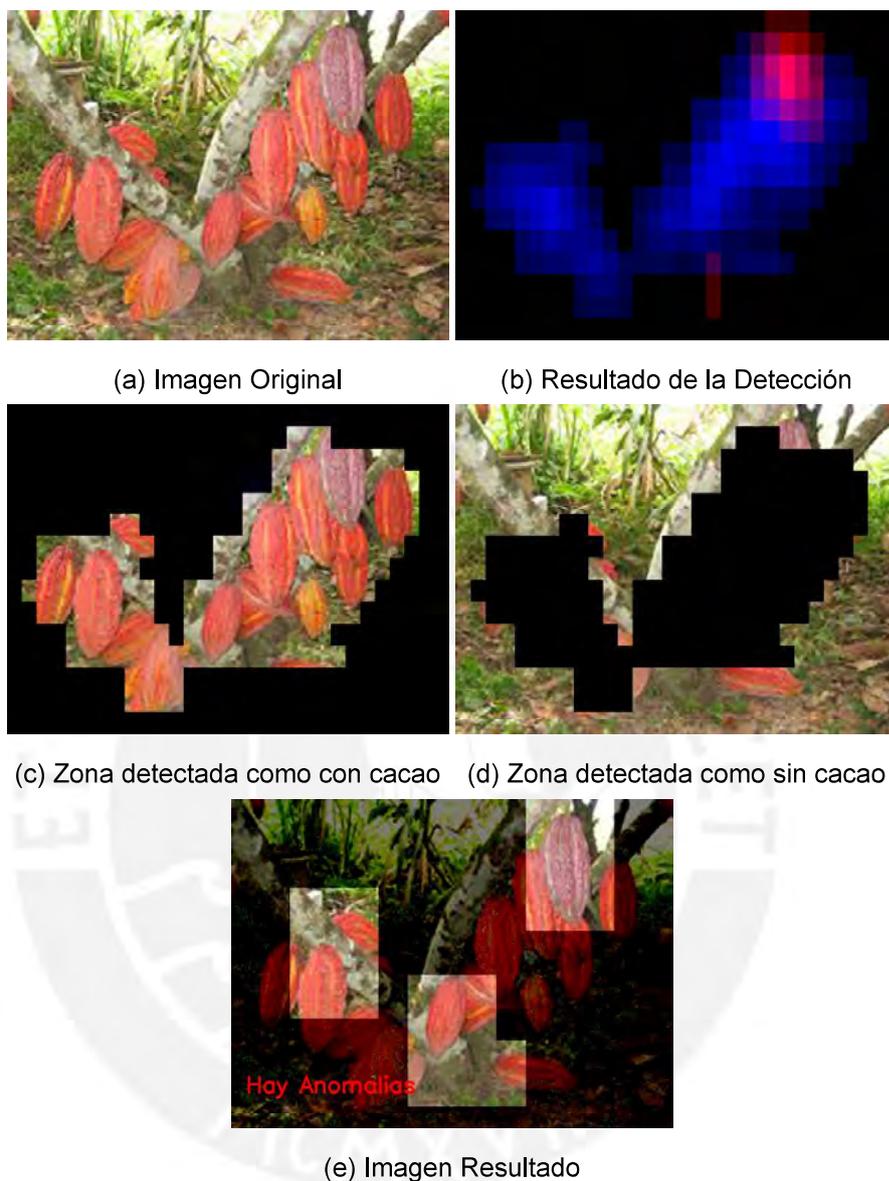
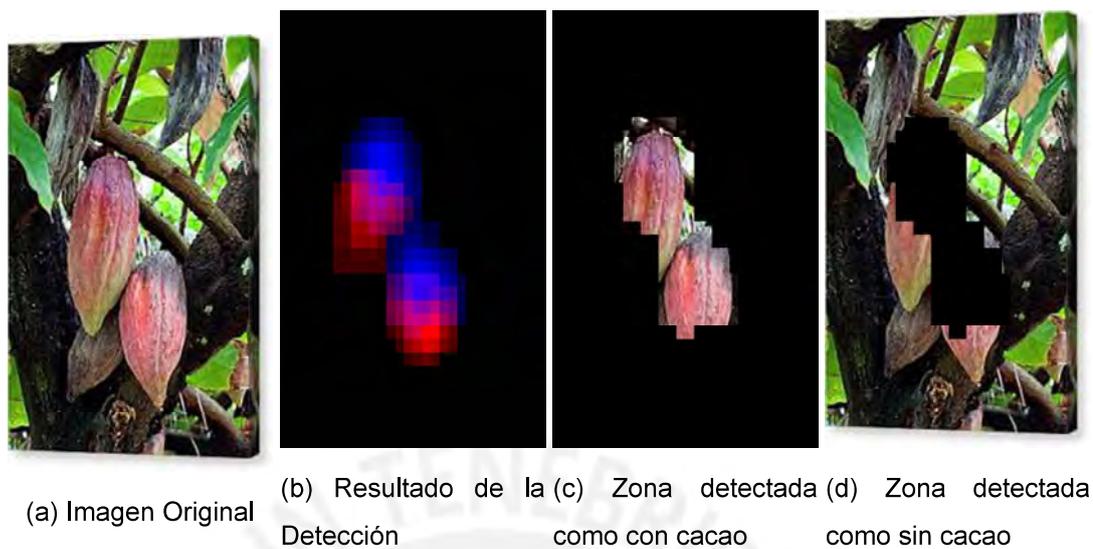


Figura F.29: Caso 29

Tabla F.29: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	64%
Verdaderos negativos	9	Ratio de Error	36%
Falsos positivos	4	Sensitividad	0%
Falsos negativos	1	Especificidad	69%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	31%

Caso 30



(e) Imagen Resultado

Figura F.30: Caso 30

Tabla F.30: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	2	Exactitud	40%
Verdaderos negativos	0	Ratio de Error	60%
Falsos positivos	0	Sensitividad	40%
Falsos negativos	3	Especificidad	0%
		Precisión	100%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 31

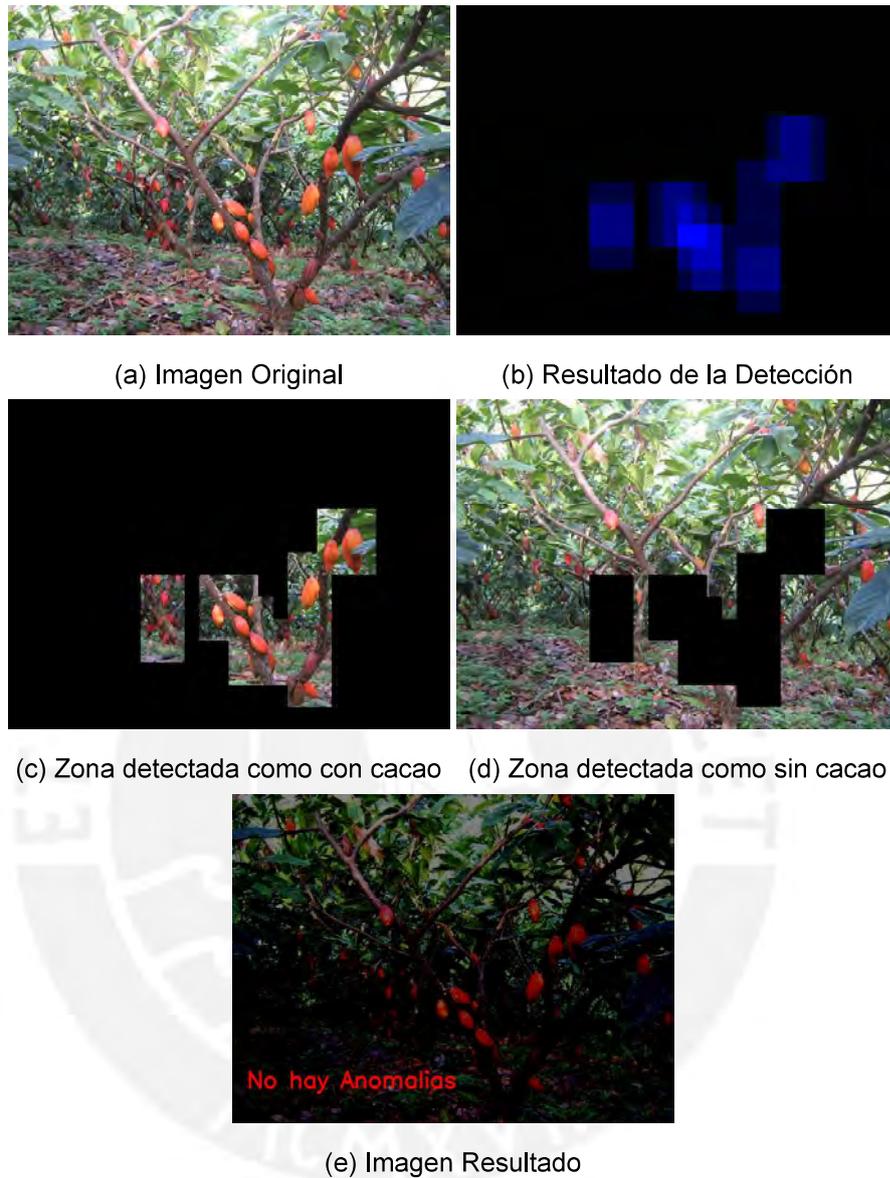


Figura F.31: Caso 31

Tabla F.31: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	50%
Verdaderos negativos	28	Ratio de Error	50%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	28	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 32

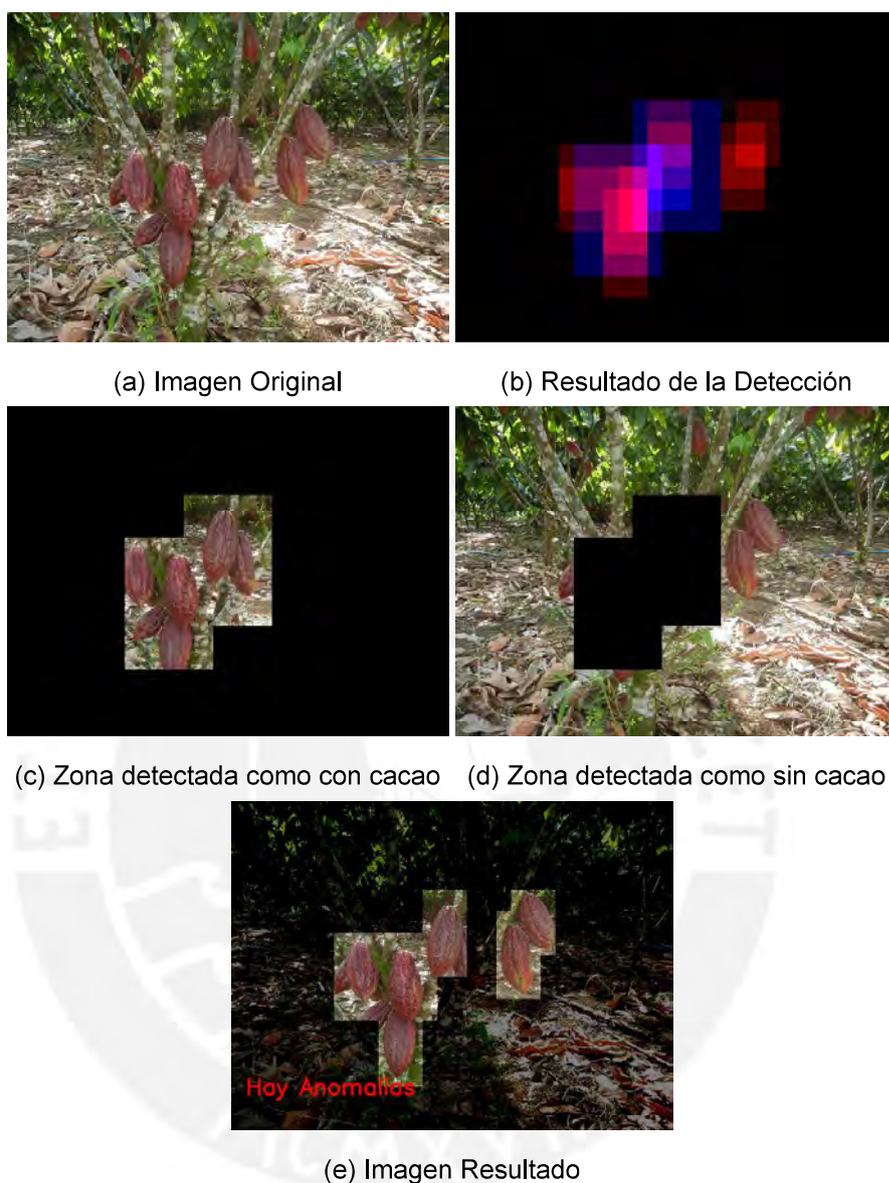


Figura F.32: Caso 32

Tabla F.32: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	0%
Verdaderos negativos	0	Ratio de Error	100%
Falsos positivos	6	Sensitividad	0%
Falsos negativos	8	Especificidad	0%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	100%

Caso 33

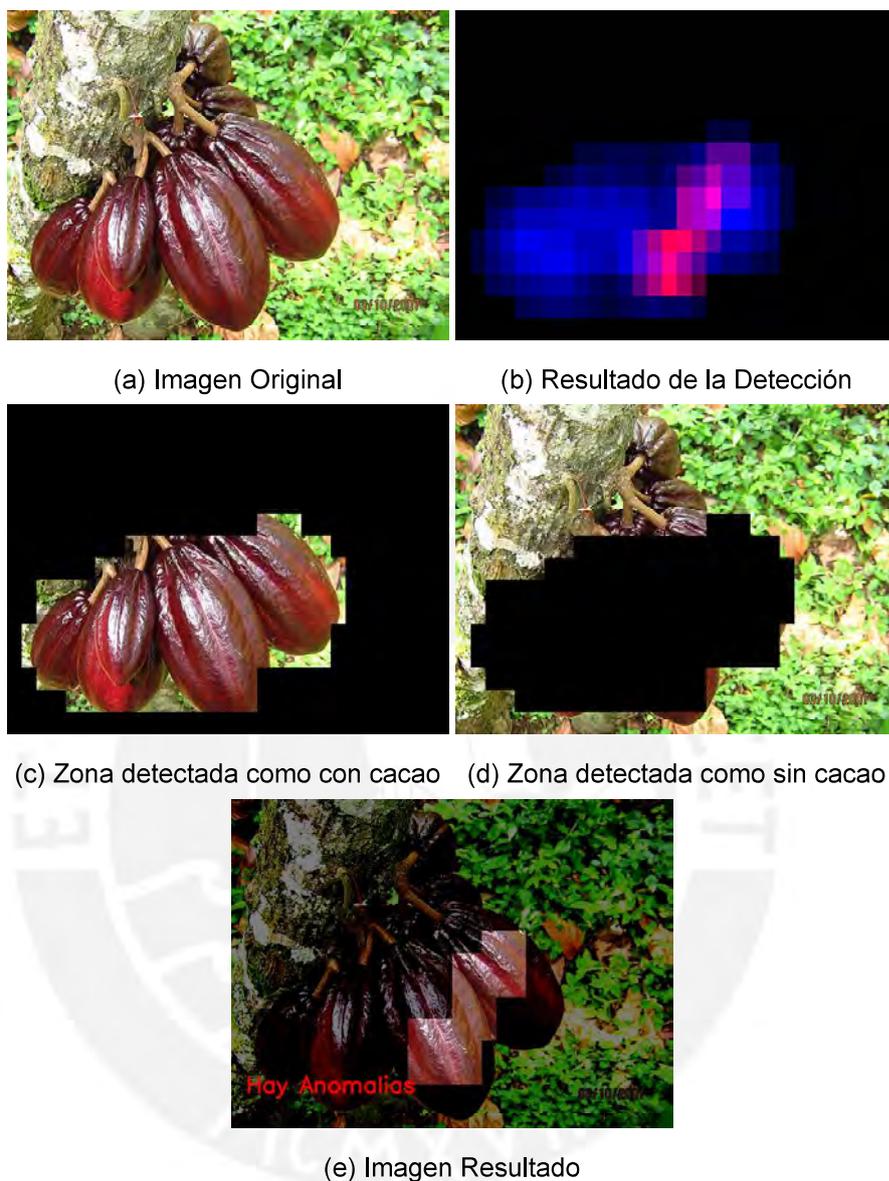


Figura F.33: Caso 33

Tabla F.33: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	33%
Verdaderos negativos	2	Ratio de Error	67%
Falsos positivos	2	Sensitividad	0%
Falsos negativos	2	Especificidad	50%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	50%

Caso 34

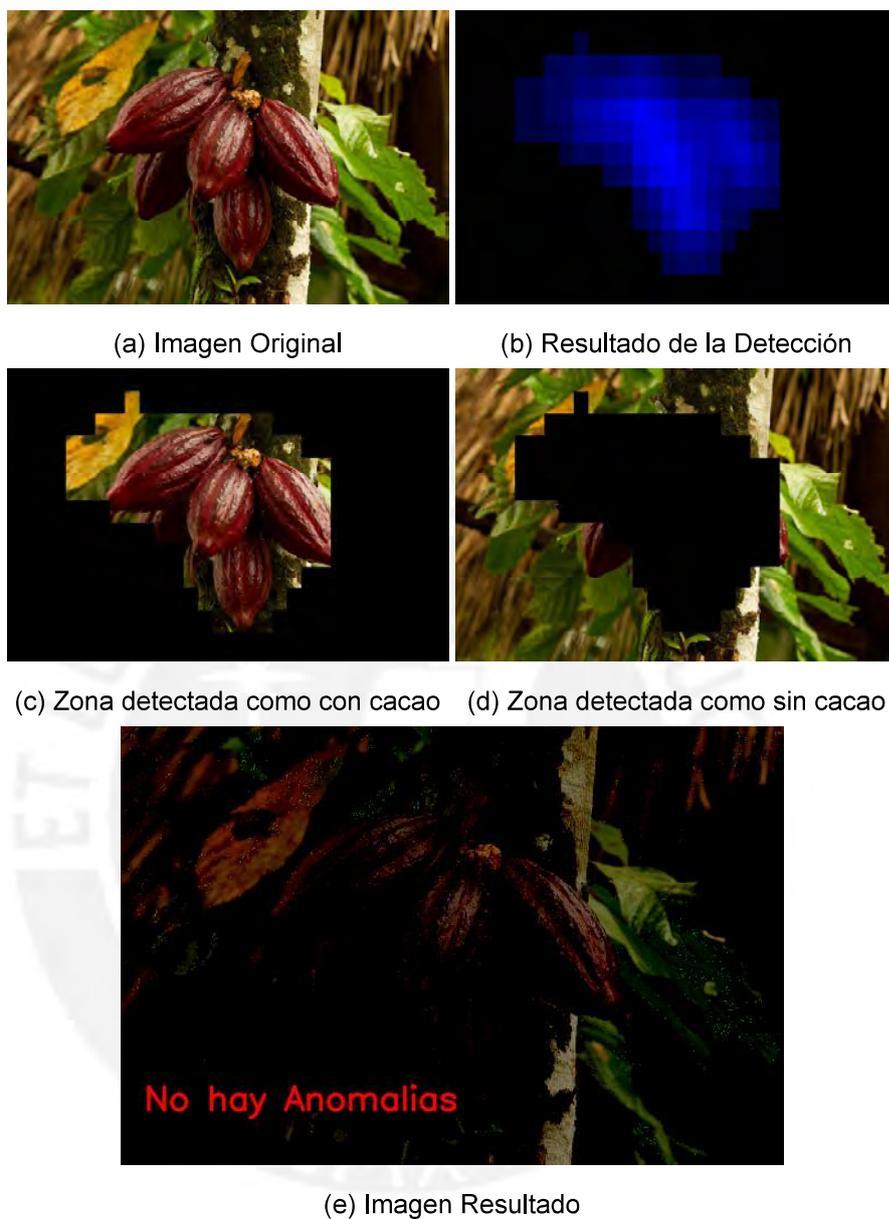


Figura F.34: Caso 34

Tabla F.34: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	100%
Verdaderos negativos	5	Ratio de Error	0%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	0	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 35

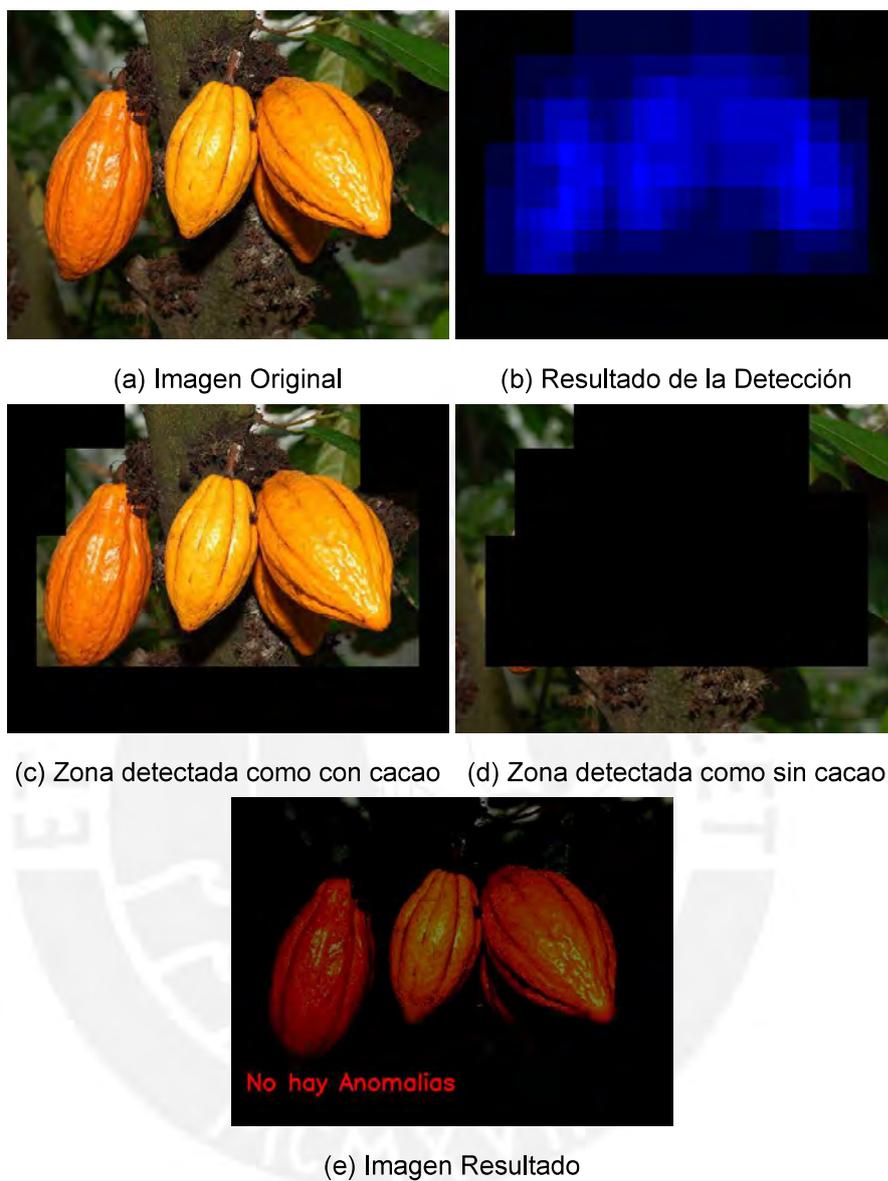


Figura F.35: Caso 35

Tabla F.35: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	100%
Verdaderos negativos	4	Ratio de Error	0%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	0	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 36

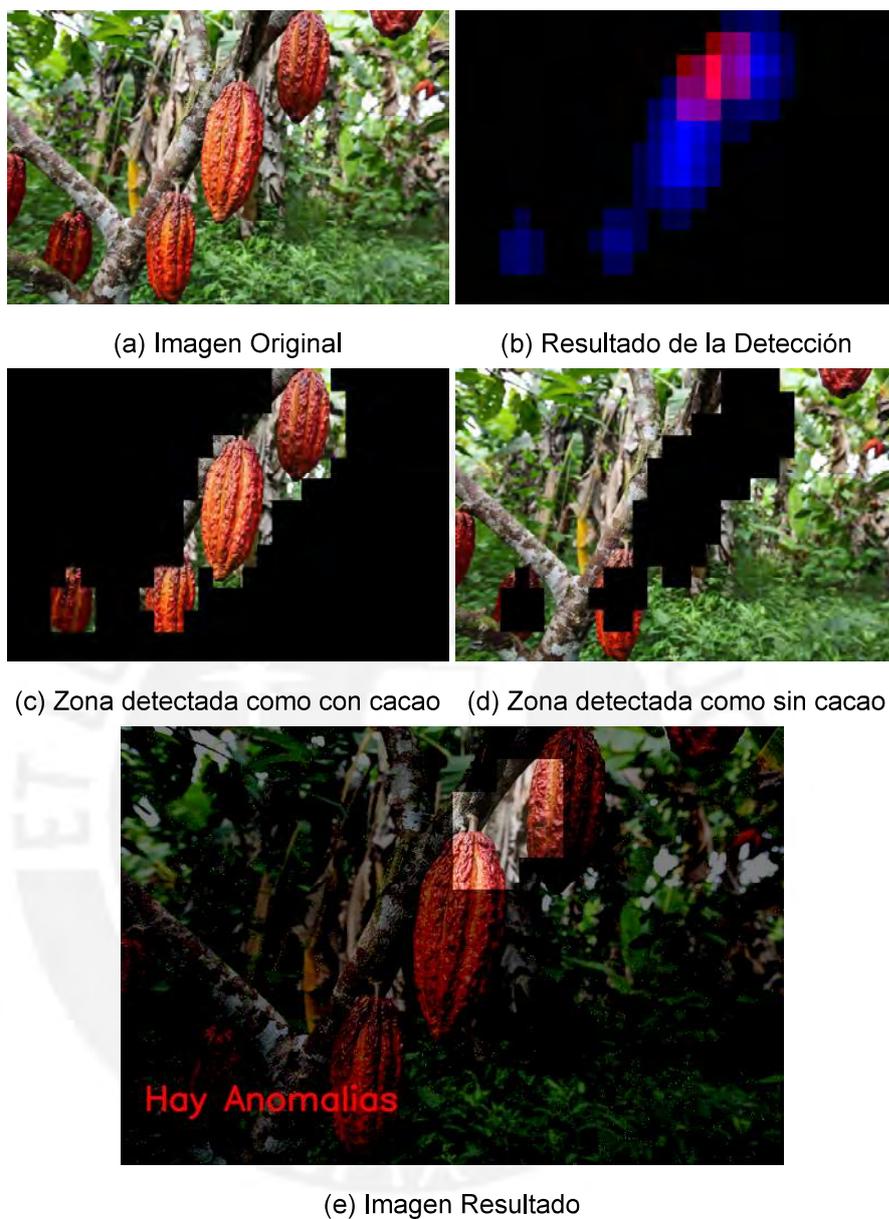


Figura F.36: Caso 36

Tabla F.36: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	33%
Verdaderos negativos	2	Ratio de Error	67%
Falsos positivos	2	Sensitividad	0%
Falsos negativos	2	Especificidad	50%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	50%

Caso 37

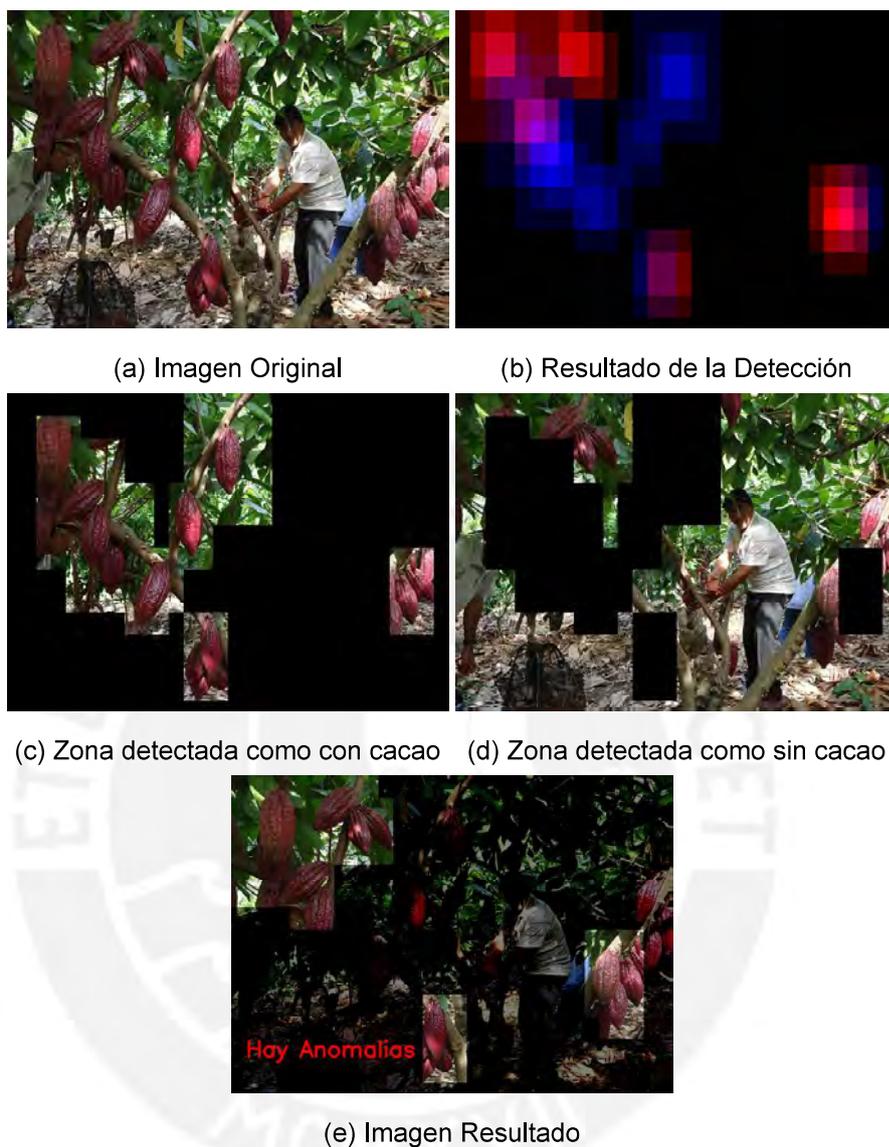
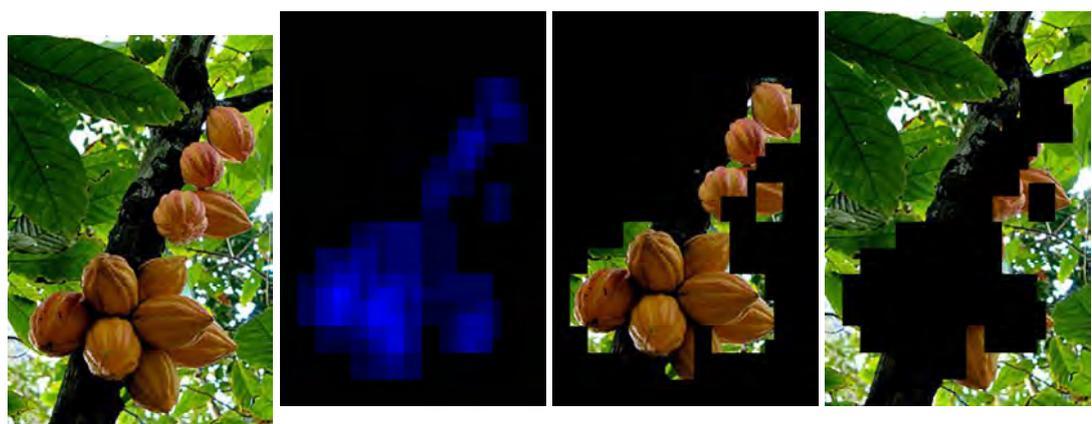


Figura F.37: Caso 37

Tabla F.37: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	17%
Verdaderos negativos	4	Ratio de Error	83%
Falsos positivos	12	Sensitividad	0%
Falsos negativos	8	Especificidad	25%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	75%

Caso 38

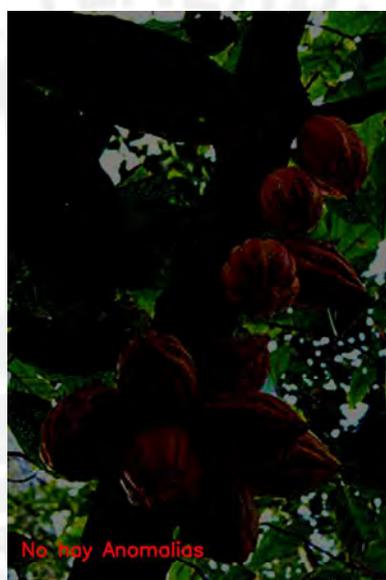


(a) Imagen Original

(b) Resultado de la
Detección

(c) Zona detectada
como con cacao

(d) Zona detectada
como sin cacao



(e) Imagen Resultado

Figura F.38: Caso 38

Tabla F.38: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación	
Verdaderos positivos	0
Verdaderos negativos	10
Falsos positivos	0
Falsos negativos	2

Evaluación de Rendimiento	
Exactitud	83%
Ratio de Error	17%
Sensitividad	0%
Especificidad	100%
Precisión	0%
Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 39

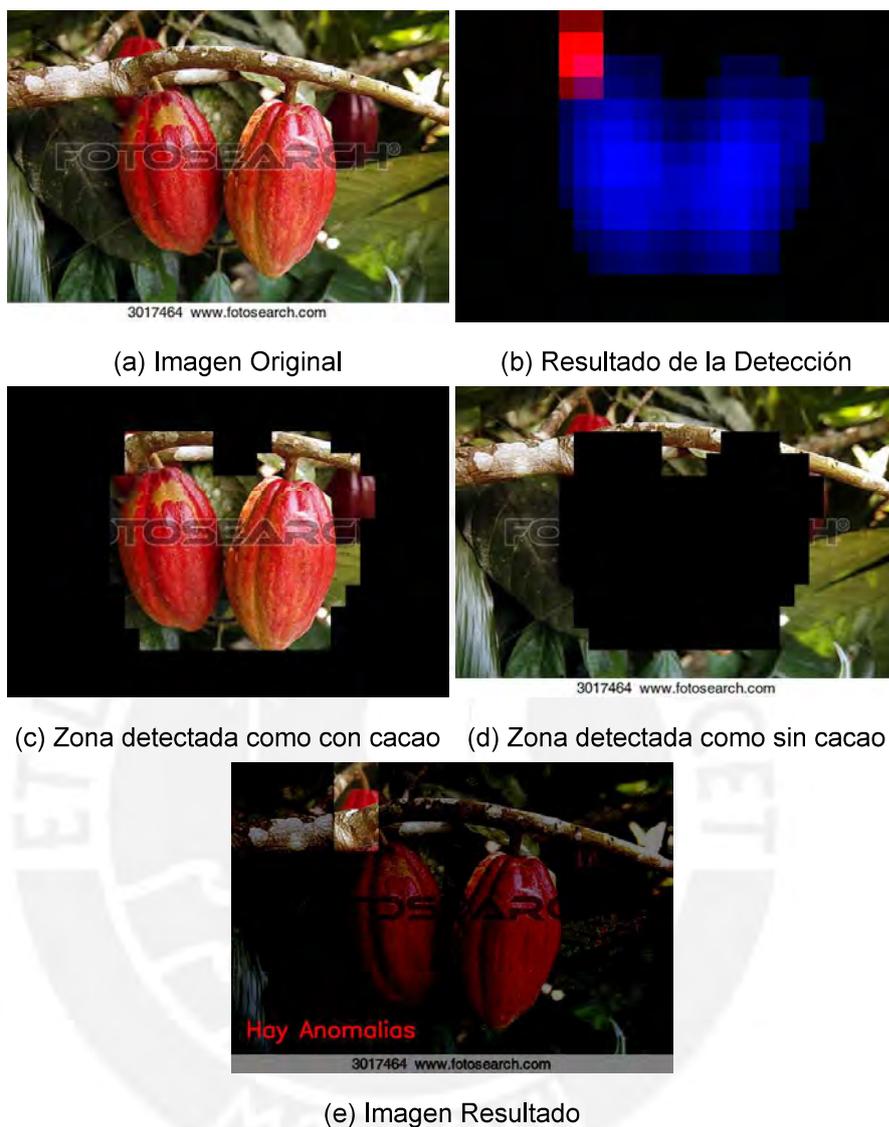


Figura F.39: Caso 39

Tabla F.39: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	50%
Verdaderos negativos	2	Ratio de Error	50%
Falsos positivos	1	Sensitividad	0%
Falsos negativos	1	Especificidad	67%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	33%

Caso 40

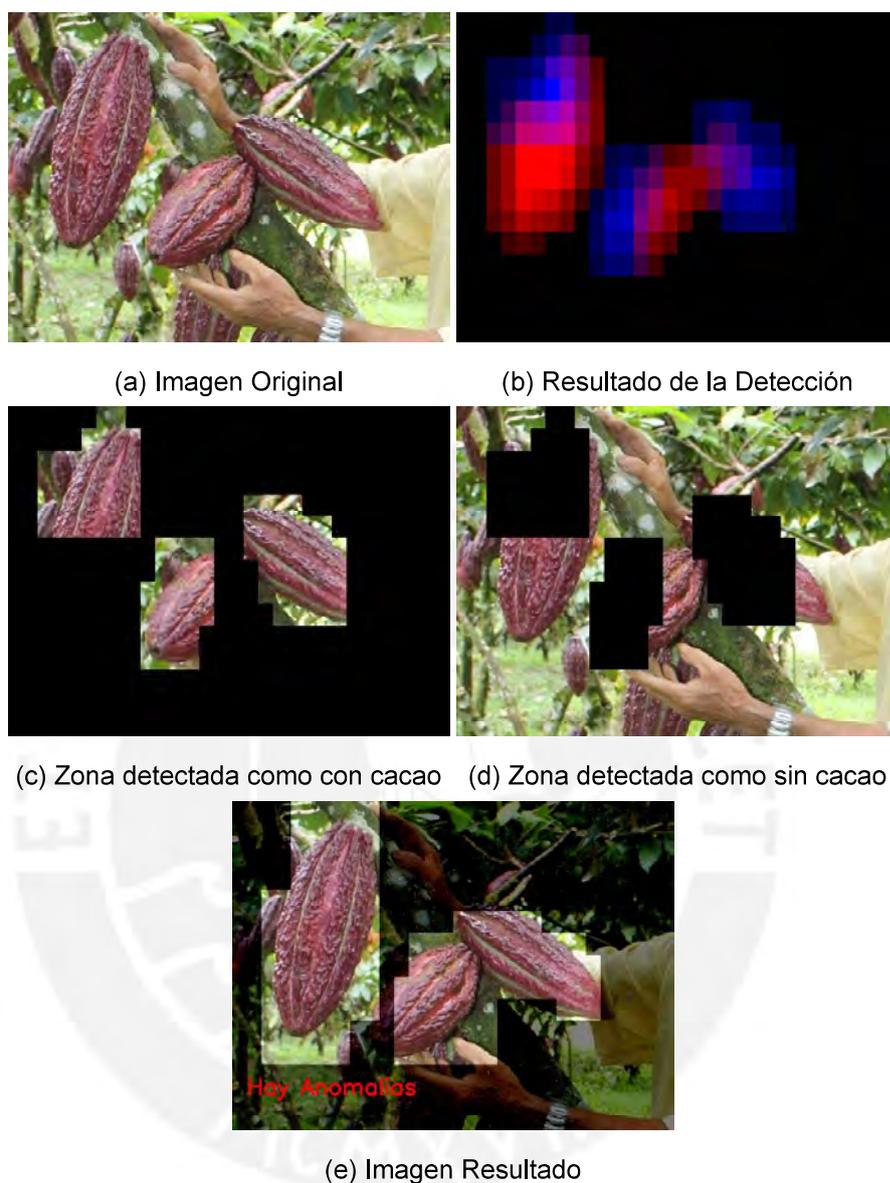


Figura F.40: Caso 40

Tabla F.40: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	0%
Verdaderos negativos	0	Ratio de Error	100%
Falsos positivos	3	Sensitividad	0%
Falsos negativos	3	Especificidad	0%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	100%

Caso 41

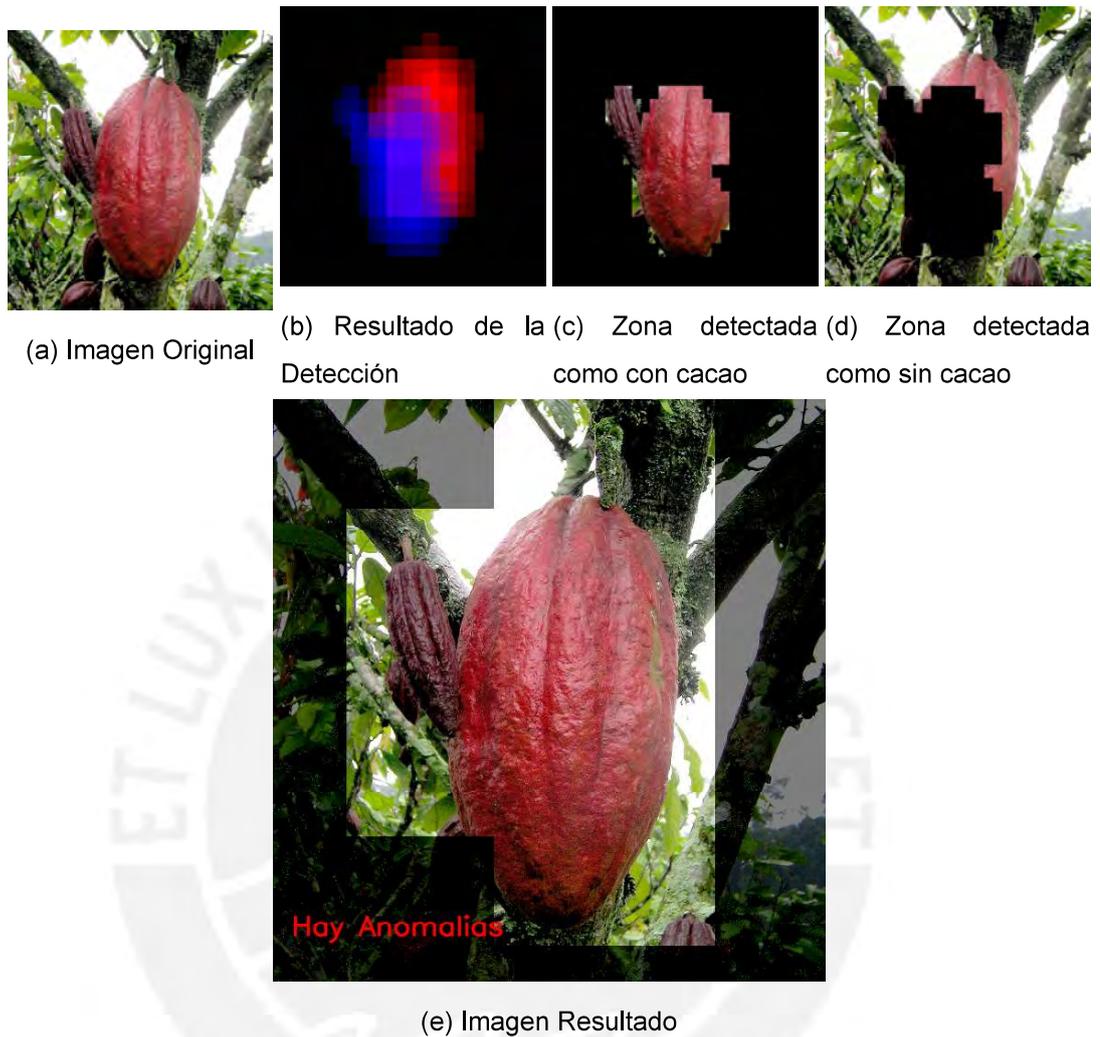


Figura F.41: Caso 41

Tabla F.41: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	1	Exactitud	13%
Verdaderos negativos	0	Ratio de Error	88%
Falsos positivos	2	Sensitividad	17%
Falsos negativos	5	Especificidad	0%
		Precisión	33%
		Ratio de Falsos Positivos	100%

Caso 42

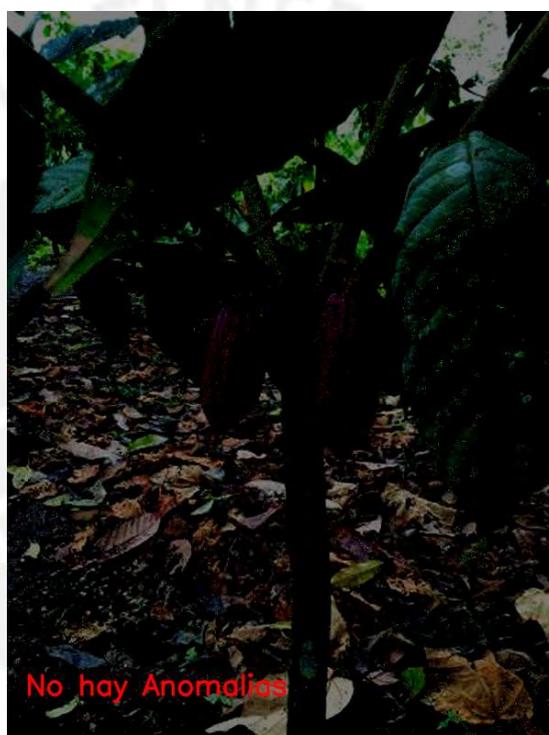
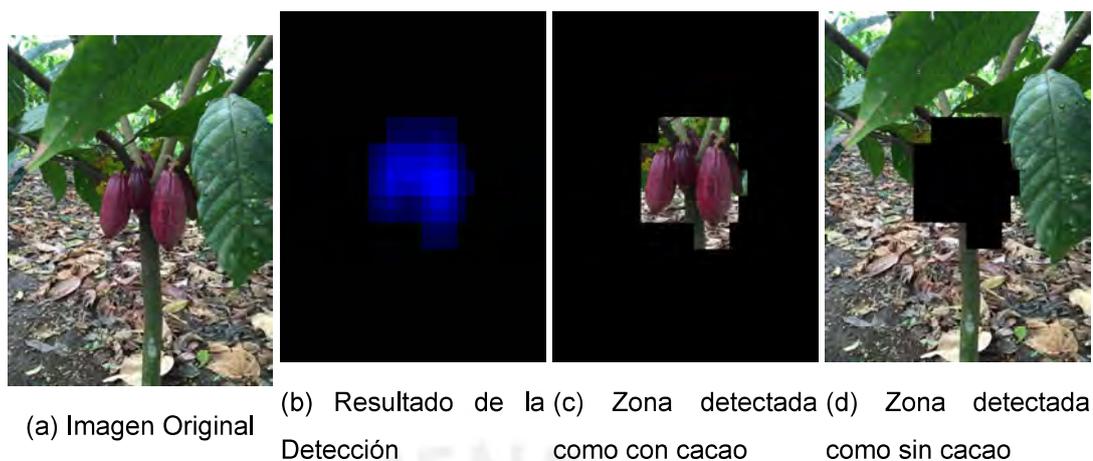


Figura F.42: Caso 42

Tabla F.42: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	38%
Verdaderos negativos	3	Ratio de Error	63%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	5	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 43



(e) Imagen Resultado

Figura F.43: Caso 43

Tabla F.43: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	100%
Verdaderos negativos	5	Ratio de Error	0%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	0	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 44

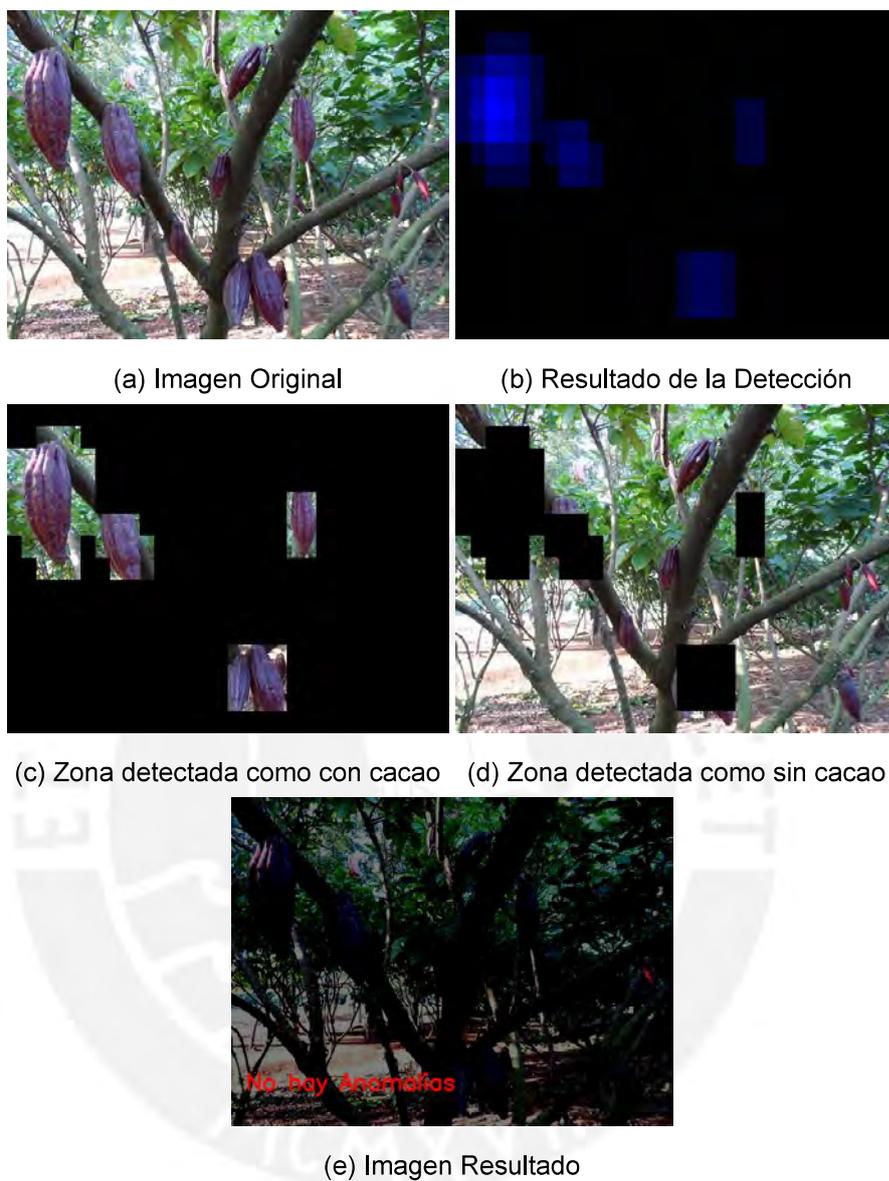


Figura F.44: Caso 44

Tabla F.44: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	42%
Verdaderos negativos	5	Ratio de Error	58%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	7	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 45

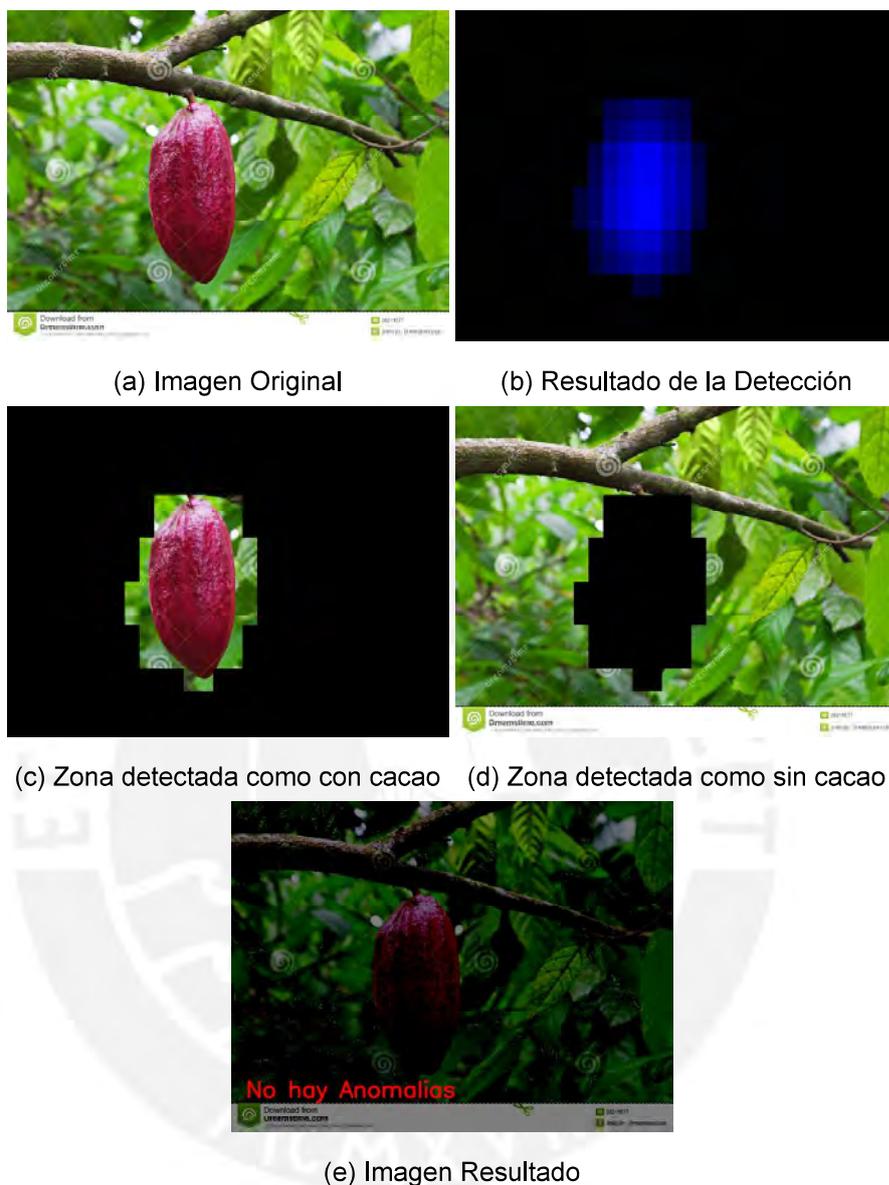


Figura F.45: Caso 45

Tabla F.45: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	100%
Verdaderos negativos	1	Ratio de Error	0%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	0	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 46

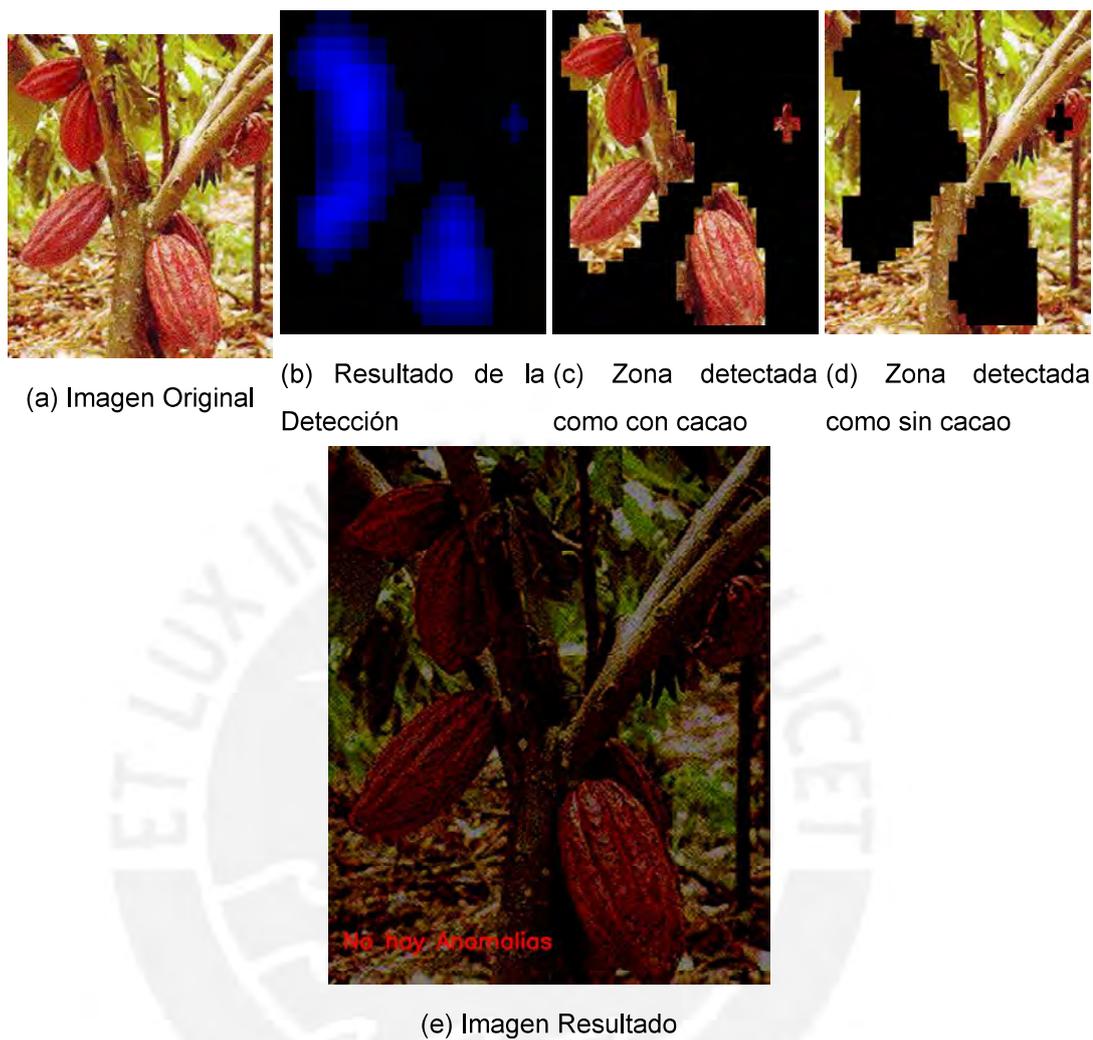


Figura F.46: Caso 46

Tabla F.46: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	100%
Verdaderos negativos	7	Ratio de Error	0%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	0	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 47

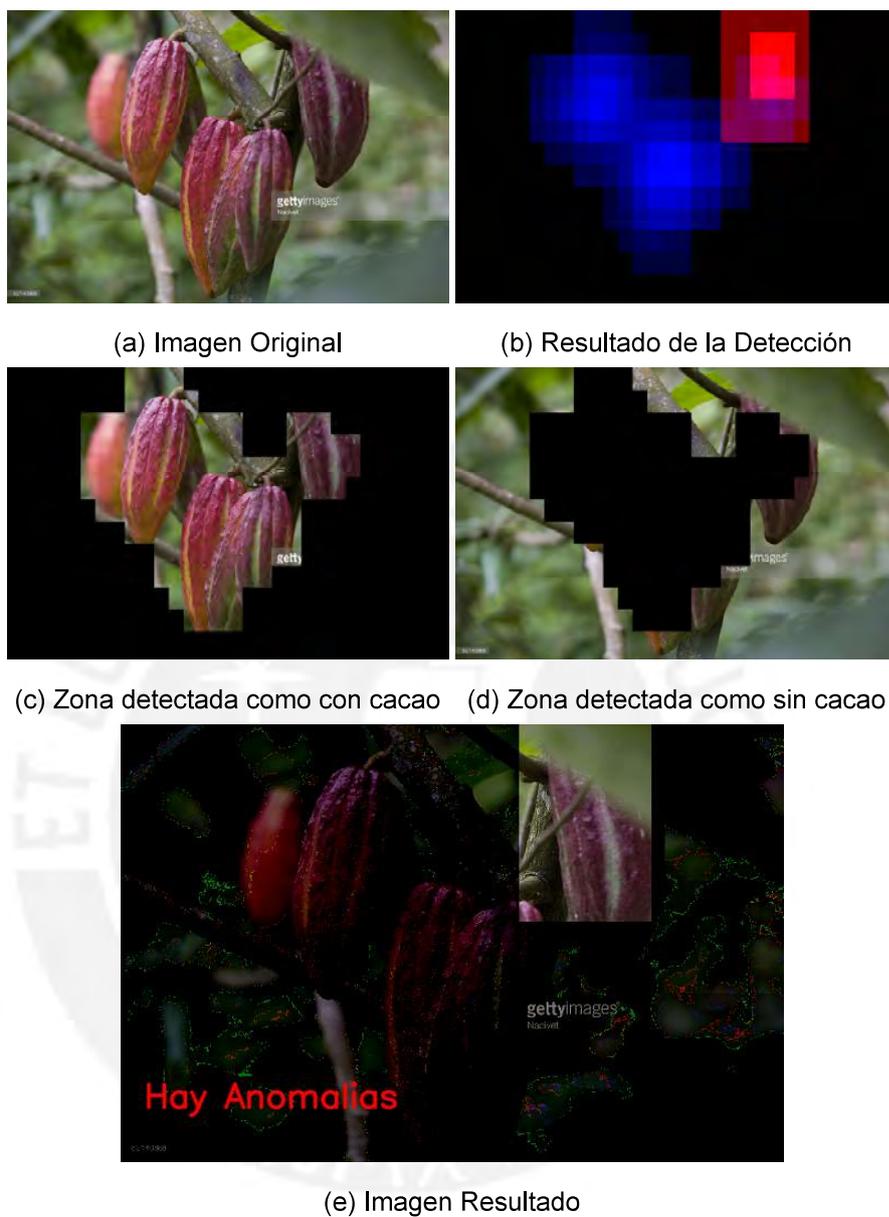


Figura F.47: Caso 47

Tabla F.47: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	83%
Verdaderos negativos	5	Ratio de Error	17%
Falsos positivos	1	Sensitividad	0%
Falsos negativos	0	Especificidad	83%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	17%

Caso 48

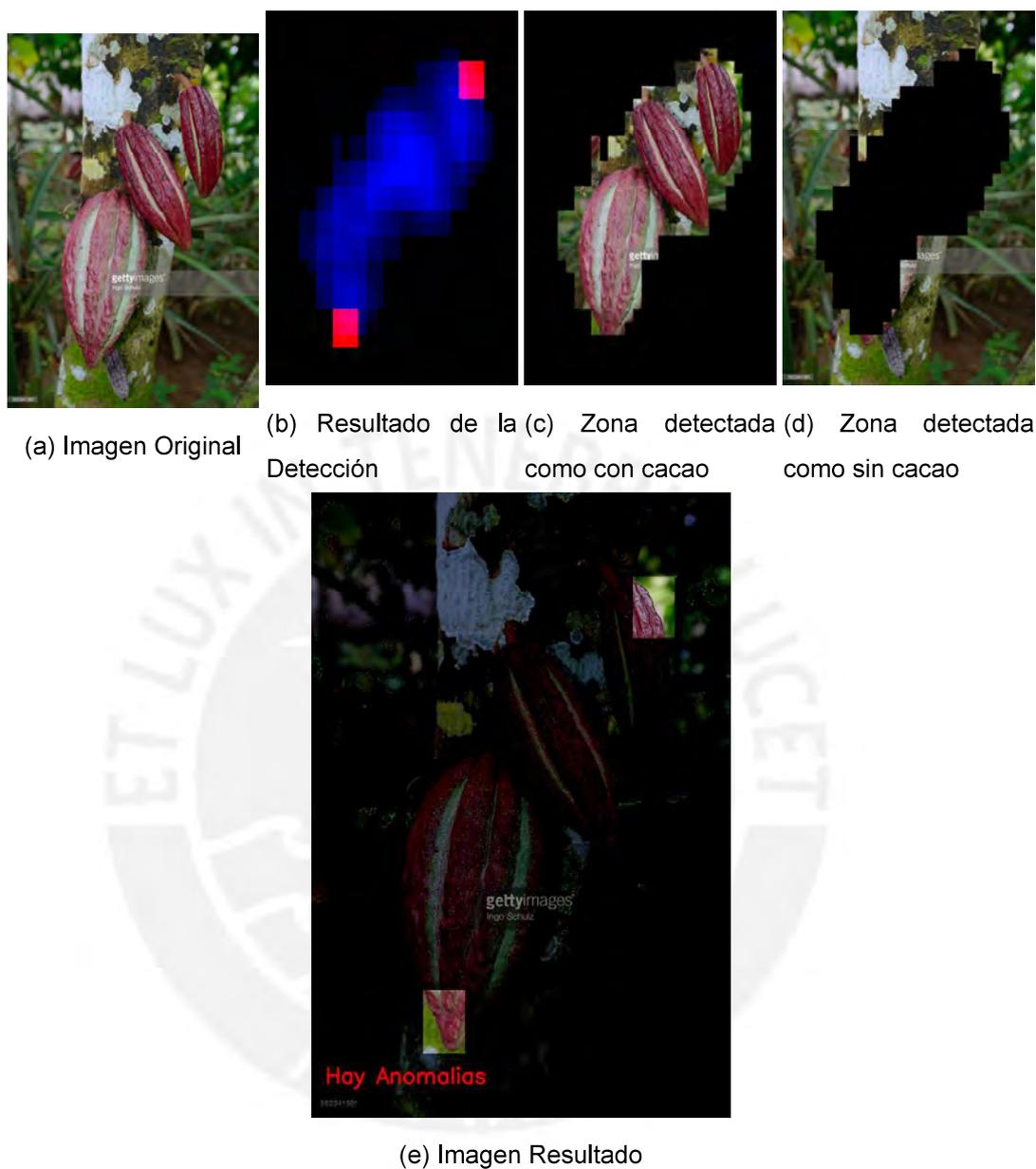


Figura F.48: Caso 48

Tabla F.48: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	33%
Verdaderos negativos	1	Ratio de Error	67%
Falsos positivos	2	Sensitividad	0%
Falsos negativos	0	Especificidad	33%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	67%

Caso 49

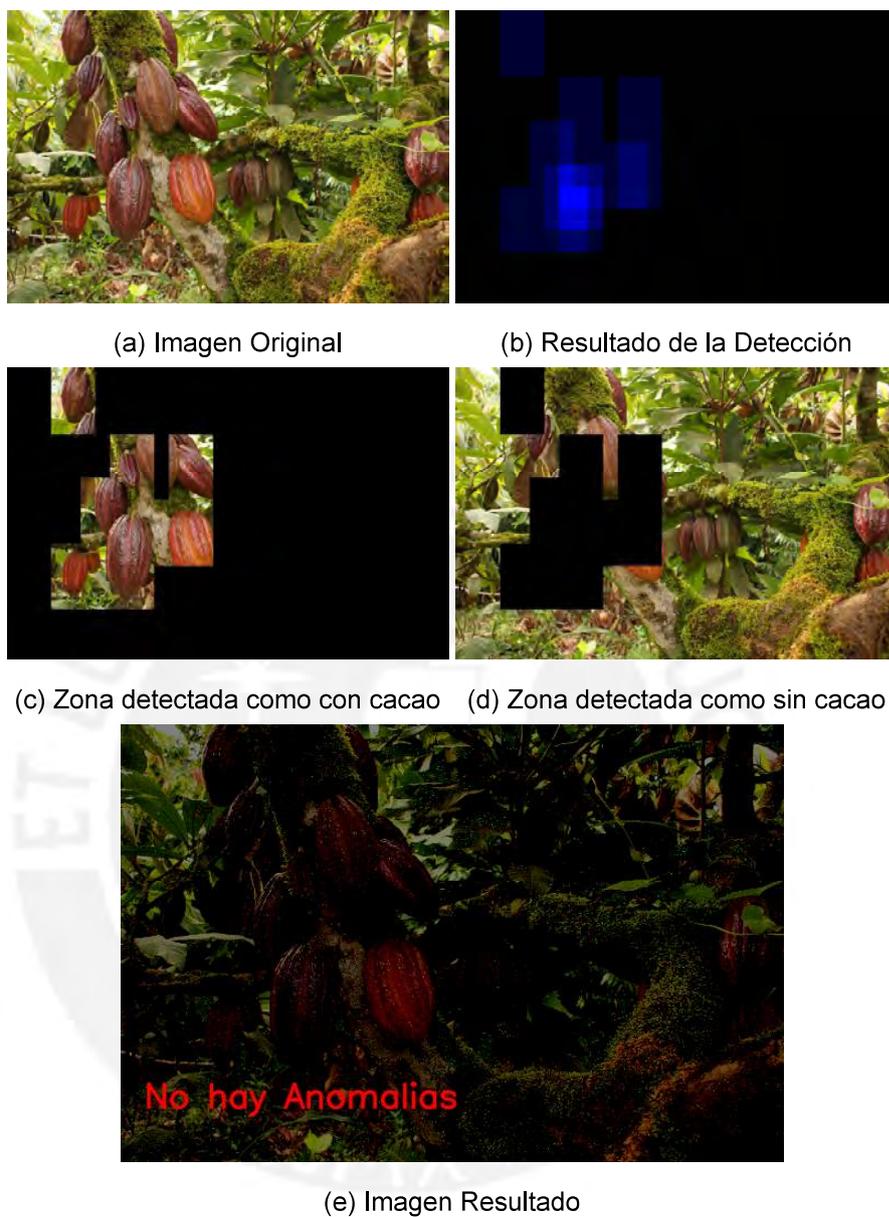


Figura F.49: Caso 49

Tabla F.49: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	60%
Verdaderos negativos	9	Ratio de Error	40%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	6	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%

Caso 50

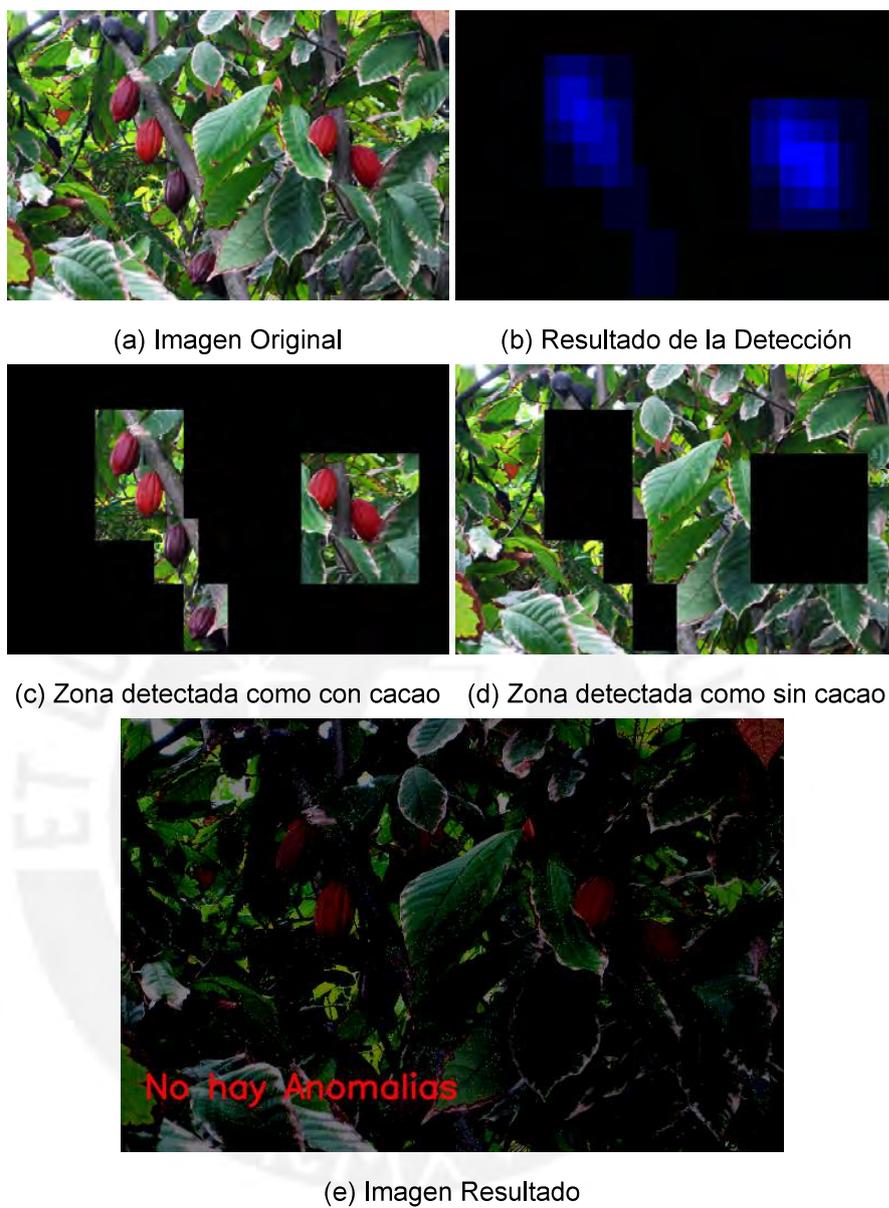


Figura F.50: Caso 50

Tabla F.50: Evaluación del modelo de detección de cacao

Resultado de la Clasificación		Evaluación de Rendimiento	
Verdaderos positivos	0	Exactitud	100%
Verdaderos negativos	6	Ratio de Error	0%
Falsos positivos	0	Sensitividad	0%
Falsos negativos	0	Especificidad	100%
		Precisión	0%
		Ratio de Falsos Positivos	0%