



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
POSGRADO EN GEOGRAFÍA

ESTIMACIÓN DE LA RESILIENCIA DE LA COBERTURA VEGETAL
ANTE EL IMPACTO DE CICLONES TROPICALES EN LA PENÍNSULA
DE YUCATÁN, MEDIANTE EL CÁLCULO DE ANOMALÍAS DEL
ÍNDICE NORMALIZADO DE VEGETACIÓN

T E S I S
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A :
GABRIEL SÁNCHEZ RIVERA

DIRECTORA DE TESIS
DRA. LETICIA GÓMEZ MENDOZA

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

Ciudad Universitaria, Cd. Mex. Marzo, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Página en blanco intencionalmente

Sínodo

Dra. Leticia Gómez Mendoza

Directora de Tesis

Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.

Mtro. José Manuel Espinoza Rodríguez

Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.

Dra. Guadalupe Rebeca Granados Ramírez

Instituto de Geografía, UNAM.

Dr. Ernesto Dos Santos Caetano Neto

Instituto de Geografía, UNAM.

Dr. José Antonio Ávalos Lozano

Facultad de Agronomía, UASLP.

Página en blanco intencionalmente

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por brindar un hogar académico durante los años que recorrí sus aulas como alumno y como docente.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por la beca otorgada para realizar los estudios de posgrado que se cristalizan en este proyecto.

A la Dra. Leticia Gómez Mendoza por la dedicación y cariño profesional con que dirigió esta tesis.

Al Mtro. José Manuel Espinoza Rodríguez, por sus enseñanzas, por su dedicación y por su gran entrega a la docencia, que hoy se ve una vez más reflejada en este estudio.

A la Dra. Guadalupe Rebeca Granados Ramírez, al Dr. Ernesto Dos Santos Caetano Neto y al Dr. José Antonio Ávalos Lozano, por el tiempo dedicado para la revisión y emisión de sus valiosos comentarios, correcciones y sugerencias para el enriquecimiento del proyecto.

A la familia, en especial al Dr. Benito Sordo Carrillo, por su constante e incondicional amor y apoyo durante todos estos años.

A Mischel Reyes Ocampo, con quien palmo a palmo y codo a codo compartí y comparto los maravillosos caminos del haber geográfico.

A Luis Galván, el amigo, colega y hermano que la geografía puso en el camino y de quien siempre conté con el apoyo para culminar este proyecto.

Por mi raza hablará el espíritu
Geóg. Gabriel Sánchez Rivera

Página en blanco intencionalmente

CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.....	3
MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL	5
Ciclones tropicales.....	5
Estructura	5
Clasificación.....	6
Zona de Impacto.....	7
Resiliencia.....	8
Índice Normalizado de Vegetación (NDVI).....	9
Anomalía del NDVI	11
Provincia Fisiográfica: Península de Yucatán	12
Modelos estadísticos	13
Correlación múltiple.....	13
Regresión lineal.....	14
ANTECEDENTES	14
JUSTIFICACIÓN.....	16
OBJETIVOS.....	18
Objetivo general.....	18
Objetivos específicos.....	18
HIPÓTESIS	19
ZONA DE ESTUDIO.....	19
Criterios de selección del área de estudio.....	19
Descripción del área de estudio	20
DATOS Y METODOLOGÍA	24
Adquisición de datos.....	24
Compuestos NDVI	24
Ciclones tropicales	25
Usos de suelo y vegetación	26
Metodología.....	27
Escala peninsular.....	28
Escala regional	29

RESULTADOS	33
Ciclones tropicales	33
Vegetación.....	35
NDVI, Climatologías y Anomalías de NDVI	36
Escala peninsular	43
Estudio de caso: Huracán <i>Wilma</i>	43
Escala regional por ciclón.....	47
Vecindades	47
Huracán <i>Emily</i>	51
Huracán <i>Wilma</i>	55
Huracán <i>Dean</i>	60
DISCUSIÓN.....	65
CONCLUSIONES.....	76
BIBLIOGRAFÍA	79
ANEXO: RESULTADOS POR CICLÓN	85
Huracán <i>Gordon</i>	85
Huracán <i>Keith</i>	90
Tormenta Tropical <i>Chantal</i>	95
Huracán <i>Isidore</i>	99
Tormenta Tropical <i>Bill</i>	103
Huracán <i>Claudette</i>	107
Tormenta Tropical <i>Larry</i>	111
Huracán <i>Cindy</i>	115
Huracán <i>Stan</i>	120
Tormenta Tropical <i>Olga</i>	124
Tormenta Tropical <i>Arthur</i>	128
Huracán <i>Dolly</i>	132
Huracán <i>Alex</i>	136
Huracán <i>Karl</i>	140
Huracán <i>Richard</i>	144
Tormenta Tropical <i>Rina</i>	148

Huracán <i>Ernesto</i>	152
Tormenta Tropical <i>Helene</i>	156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Huracán <i>Wilma</i> al contacto con tierra en el estado de Quintana Roo, México.....	6
Figura 2: Zona de impacto definida por el Centro Nacional de Huracanes (NHC).	8
Figura 3: Campo de vientos de un ciclón tropical.	8
Figura 4: Ejemplo del cálculo del NDVI.....	10
Figura 5: Mapa de Regiones o Provincias Fisiográficas de México. (INEGI, 2005).....	12
Figura 6: Provincias Fisiográficas en la Península de Yucatán (INEGI, 2005).	19
Figura 7: Delimitación del área de estudio.	20
Figura 8: Valor medio del NDVI del compuesto del periodo del 18/02/2000 al 4/04/2000.....	24
Figura 9: Trayectorias de los ciclones tropicales que tocaron la zona de estudio.	25
Figura 10: Uso del suelo y vegetación, escala 1:250,000, serie IV.....	26
Figura 11: Diagrama metodológico.....	27
Figura 12: Delimitación de vecindades y zona de impacto definido por el NHC.....	29
Figura 13: Ejemplo de la trayectorias y zonas de impacto para el ciclón: <i>Wilma</i>	30
Figura 14: Uso del suelo y vegetación, escala 1:250,000, serie IV, utilizados en el presente estudio.....	35
Figura 15: Distribución de los valores medios del NDVI, en el periodo 2000-2012.	38
Figura 16: Distribución de los valores medios de las aNDVI, en el periodo 2000-2012.....	40
Figura 17: Diferencia de los valores medios de aNDVI en el periodo 2000-2012.	42
Figura 18: Gráfica del comportamiento espacial de los valores medios de NDVI y aNDVI por compuesto durante el paso del huracán <i>Wilma</i> por la PY.	43
Figura 19: Distribución espacial de los valores medios de NDVI por compuesto durante el paso del huracán <i>Wilma</i> por la PY.....	45
Figura 20: Distribución espacial de los valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán <i>Wilma</i> por la PY.....	46
Figura 21: Distribución espacial de las vecindades definidas por ciclón.	48

Figura 22: Superficie de la zona de impacto "V-300" y Máxima Categoría por ciclón, por año.....	50
Figura 23: Trayectoria del huracán <i>Emily</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	51
Figura 24: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán <i>Emily</i> por la PY.	53
Figura 25: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Emily</i> por la PY.....	54
Figura 26: Trayectoria del huracán <i>Wilma</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	55
Figura 27: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán <i>Wilma</i> por la PY.	57
Figura 28: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Wilma</i> por la PY.....	58
Figura 29: Trayectoria del huracán <i>Dean</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	60
Figura 30: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán <i>Dean</i> por la PY.	62
Figura 31: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Dean</i> por la PY.	63
Figura 32: Compuestos con los máximos valores de aNDVI por ciclón.....	67
Figura 33: Numero de ciclones por periodo (semanas) de retorno de los valores de las aNDVI.....	71
Figura 34: Relación entre la distancia recorrida y el máximo incremento registrado por ciclón.....	73
Figura 35: Relación entre los vientos máximos sostenidos y el máximo incremento registrado por ciclón.	74
Figura 36: Relación entre la máxima superficie impactada y el máximo incremento registrado por ciclón. Ambas en términos de los valores extremos de las aNDVI.....	75

Figura 37: Trayectoria del huracán <i>Gordon</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	85
Figura 38: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán <i>Gordon</i> por la PY.....	87
Figura 39: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Gordon</i> por la PY.....	88
Figura 40: Trayectoria del huracán <i>Keith</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	90
Figura 41: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán <i>Keith</i> por la PY.	93
Figura 42: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Keith</i> por la PY.	94
Figura 43: Trayectoria de la tormenta tropical <i>Chantal</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	95
Figura 44: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso de la tormenta tropical <i>Chantal</i> por la PY.	97
Figura 45: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical <i>Chantal</i> por la PY.....	98
Figura 46: Trayectoria del huracán <i>Isidore</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	99
Figura 47: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán <i>Isidore</i> por la PY.....	101
Figura 48: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Isidore</i> por la PY.....	102
Figura 49: Trayectoria de la tormenta tropical <i>Bill</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	103
Figura 50: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso de la tormenta tropical <i>Bill</i> por la PY.	105
Figura 51: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical <i>Bill</i> por la PY.....	106

Figura 52: Trayectoria del huracán <i>Claudette</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	107
Figura 53: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán <i>Claudette</i> por la PY.	109
Figura 54: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Claudette</i> por la PY.	110
Figura 55: Trayectoria de la tormenta tropical <i>Larry</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	111
Figura 56: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso de la tormenta tropical <i>Larry</i> por la PY.	113
Figura 57: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical <i>Larry</i> por la PY.	114
Figura 58: Trayectoria del huracán <i>Cindy</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	115
Figura 59: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán <i>Cindy</i> por la PY.	118
Figura 60: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Cindy</i> por la PY.	119
Figura 61: Trayectoria del huracán <i>Stan</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	120
Figura 62: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán <i>Stan</i> por la PY.	122
Figura 63: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Stan</i> por la PY.	123
Figura 64: Trayectoria de la tormenta tropical <i>Olga</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	124
Figura 65: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso de la tormenta tropical <i>Olga</i> por la PY.	126
Figura 66: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical <i>Olga</i> por la PY.	127

Figura 67: Trayectoria de la tormenta tropical <i>Arthur</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	128
Figura 68: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso de la tormenta tropical <i>Arthur</i> por la PY.	130
Figura 69: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical <i>Arthur</i> por la PY.....	131
Figura 70: Trayectoria del huracán <i>Dolly</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	132
Figura 71: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán <i>Dolly</i> por la PY.	134
Figura 72: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Dolly</i> por la PY.	135
Figura 73: Trayectoria del huracán <i>Alex</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	136
Figura 74: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán <i>Alex</i> por la PY.	138
Figura 75: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Alex</i> por la PY.....	139
Figura 76: Trayectoria del huracán <i>Karl</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	140
Figura 77: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso de huracán <i>Karl</i> por la PY.	142
Figura 78: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Karl</i> por la PY.....	143
Figura 79: Trayectoria del huracán <i>Richard</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	144
Figura 80: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán <i>Richard</i> por la PY.	146
Figura 81: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Richard</i> por la PY.	147

Figura 82: Trayectoria de la tormenta tropical <i>Rina</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	148
Figura 83: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso de la tormenta tropical <i>Rina</i> por la PY.	150
Figura 84: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical <i>Rina</i> por la PY.	151
Figura 85: Trayectoria del huracán <i>Ernesto</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	152
Figura 86: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso de huracán <i>Ernesto</i> por la PY.	154
Figura 87: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Ernesto</i> por la PY.....	155
Figura 88: Trayectoria de la tormenta tropical <i>Helene</i> y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).....	156
Figura 89: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso de la tormenta tropical <i>Helene</i> por la PY.....	158
Figura 90: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical <i>Helene</i> por la PY.	159

Índice de cuadros

Cuadro 1: Escala de daño potencial Saffir-Simpson.	7
Cuadro 2: Antecedentes investigativos sobre aplicación del NDVI.	15
Cuadro 3: Clasificación de las aNDVI.	31
Cuadro 4: Ciclones tropicales por año y por máxima intensidad registrada.	33
Cuadro 5: Ciclones tropicales por año y por máxima intensidad registrada en tierra.	34
Cuadro 6: Fechas de ocurrencia y categorías por ciclón.	34
Cuadro 7: Extensión ocupada por tipo de vegetación.	35
Cuadro 8: Valores medios de NDVI por compuesto.....	37
Cuadro 9: Valores medios de aNDVI por compuesto.	39

Cuadro 10: Valores medios de NDVI y aNDVI por compuesto durante el paso del huracán <i>Wilma</i> por la PY.....	43
Cuadro 11: Superficie definida por vecindad por ciclón.....	49
Cuadro 12: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán <i>Emily</i>	52
Cuadro 13: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Emily</i> por la PY.	54
Cuadro 14: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán <i>Wilma</i>	56
Cuadro 15: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Wilma</i> por la PY.	58
Cuadro 16: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán <i>Dean</i>	61
Cuadro 17: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Dean</i> por la PY.	63
Cuadro 18: Estimación de la superficie máxima impactada (aNDVI clasificadas como de déficit extremo-moderado) por ciclón, por vecindad y periodo de retorno de los valores cercanos o menores a los presentes antes del impacto del ciclón. a) ciclones que representaron impacto negativo, b) ciclones que representaron un impacto positivo.....	69
Cuadro 19: Matriz de correlación múltiple.....	72
Cuadro 20: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán <i>Gordon</i>	86
Cuadro 21: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Gordon</i> por la PY.	88
Cuadro 22: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán <i>Keith</i>	91

Cuadro 23: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán *Keith* por la PY. 94

Cuadro 24: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto de la tormenta tropical *Chantal* 96

Cuadro 25: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical *Chantal* por la PY. 98

Cuadro 26: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán *Isidore*..... 100

Cuadro 27: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán *Isidore* por la PY. 102

Cuadro 28: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto de la tormenta tropical *Bill*..... 104

Cuadro 29: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical *Bill* por la PY. 106

Cuadro 30: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán *Claudette* 108

Cuadro 31: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán *Claudette* por la PY. 110

Cuadro 32: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto de la tormenta tropical *Larry* 112

Cuadro 33: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical *Larry* por la PY. 114

Cuadro 34: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán *Cindy* 117

Cuadro 35: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Cindy</i> por la PY.	119
Cuadro 36: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán <i>Stan</i>	121
Cuadro 37: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Stan</i> por la PY.	123
Cuadro 38: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto de la tormenta tropical <i>Olga</i>	125
Cuadro 39: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical <i>Olga</i> por la PY.....	127
Cuadro 40: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto de la tormenta tropical <i>Arthur</i>	129
Cuadro 41: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical <i>Arthur</i> por la PY.....	131
Cuadro 42: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán <i>Dolly</i>	133
Cuadro 43: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Dolly</i> por la PY.	135
Cuadro 44: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán <i>Alex</i>	137
Cuadro 45: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán <i>Alex</i> por la PY.	139
Cuadro 46: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán <i>Karl</i>	141

Cuadro 47: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán *Karl* por la PY. 143

Cuadro 48: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán *Richard* 145

Cuadro 49: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán *Richard* por la PY. 147

Cuadro 50: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto de la tormenta tropical *Rina* 149

Cuadro 51: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical *Rina* por la PY. 151

Cuadro 52: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán *Ernesto* 153

Cuadro 53: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán *Ernesto* por la PY. 155

Cuadro 54: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto de la tormenta tropical *Helene* 157

Cuadro 55: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical *Helene* por la PY. 159

Estimación de la resiliencia de la cobertura vegetal ante el impacto de ciclones tropicales en la Península de Yucatán, mediante el cálculo de anomalías del índice normalizado de vegetación

RESUMEN

Para hacer frente a los efectos provocados por la presencia de eventos hidrometeorológicos extremos, resulta indispensable el desarrollo de investigaciones que tengan como finalidad conocer y estimar la capacidad de resiliencia de la vegetación ante diversos fenómenos tanto de índole natural como antrópico. En el caso de la Península de Yucatán destacan de entre los agentes de perturbación más importantes, los ciclones tropicales, por lo que estimar la capacidad de resiliencia de la vegetación ante el embate de los vientos y lluvias asociadas, permitirá tener un panorama de las capacidades de adaptación de los recursos vegetales. Esta información puede ser útil para el diseño e implementación de planes y/o programas de adaptación ante tales fenómenos hidrometeorológicos extremos.

Este estudio tiene como objetivo el estimar la resiliencia de la vegetación ante el impacto en tierra de ciclones tropicales, mediante el análisis de las variaciones de las anomalías estandarizadas del NDVI. Para ello se analizó el caso de veintiún (21) ciclones cuyas trayectorias cruzaron la península de Yucatán en el periodo 2000 – 2012, evaluando los efectos en tres extensiones territoriales denominadas zonas de impacto o vecindades para cuatro tipos de vegetación: selvas, pastizales, agrícola e hidrófila. Adicionalmente mediante técnicas estadísticas de regresión y correlación múltiple, se buscó identificar la existencia de patrones relacionados con diversas variables como son la intensidad, longitud de la trayectoria, superficie afectada por ciclón y periodos de recuperación de la vegetación. Los resultados apuntan a que la vegetación de la península se encuentra adaptada al embate de los ciclones tropicales, ya que con excepción de los Huracanes Wilma y Dean, los cambios o impactos significativos sobre la vegetación fueron menores al 20%, medido en términos del incremento de los valores de las aNDVI antes y después del paso por tierra de cada ciclón.

Palabras clave: Resiliencia, anomalías NDVI, ciclones tropicales, recuperación de la vegetación, Península de Yucatán.

Página en blanco intencionalmente

INTRODUCCIÓN

México se encuentra ubicado entre dos zonas ciclogénicas de gran actividad, hacia el este la Región Pacífico y al oeste la Región del Atlántico Norte. La península de Yucatán (PY) se encuentra rodeada hacia el norte por el Golfo de México y hacia el este con el Mar Caribe. Esta última corresponde a la zona donde se presenta la mayor actividad climática relacionada con la formación de ciclones tropicales.

Entre los principales ciclones que han impactado contra la península, destacan el huracán *Janet* en 1955, el cual causó grandes perturbaciones en la zona sur del estado de Quintana Roo, especialmente en la Capital del estado Chetumal, El huracán *Gilbert* en 1988, cuyos efectos provocaron grandes daños en la zona norte de Quintana Roo, particularmente en la Ciudad de Cancún y zonas aledañas. Más recientemente, el huracán *Wilma* en 2005, el cual por su trayectoria causó estragos en las ciudades de Cozumel, Playa del Carmen y Cancún.

Si bien los efectos negativos provocados por los vientos y lluvias asociados a las formaciones ciclónicas, son causa de desastres en las zonas urbanas por los daños que estos ocasionan en la infraestructura y en la pérdida de vidas humanas, es importante no dejar de lado los efectos sobre el medio natural, no solo por el impacto que estos fenómenos puedan tener en la biodiversidad de la región desde el punto de vista de la ecología, sino que los efectos pueden tener repercusiones directas sobre los medios de producción, de los cuales depende la economía y el bienestar en general de la sociedad de la región.

En este sentido, resulta de vital importancia contar con técnicas y métodos que permitan estimar de manera expedita los efectos sobre la vegetación de la península, para proveer a los tomadores de decisiones los datos básicos que coadyuven al diseño e implementación

de planes y/o programas de atención de emergencias y de adaptación a los daños provocados por la presencia de fenómenos meteorológicos extremos.

El presente estudio, explora el uso de técnicas de percepción remota mediante el cálculo y análisis de los índices de vegetación, específicamente el índice normalizado de vegetación (NDVI, por sus siglas en inglés), el cual se basa en la estimación de la actividad fotosintética de las plantas, permitiendo la interpretación de los resultados en términos del estado de estrés de la vegetación relacionada con los niveles de humedad presentes en un instante dado.

En este estudio se analizó el caso de veintiún (21) ciclones cuyas trayectorias cruzaron la PY en el periodo 2000 – 2012. De los resultados obtenidos se estimó la resiliencia de la vegetación en términos de la máxima superficie vegetal impactada por cada ciclón y los tiempos de retorno del estado de esta, a niveles equivalente a los que se presentaban antes del paso de cada meteoro por tierra.

En el estudio, también se buscó identificar la existencia de patrones relacionados con la intensidad del ciclón, la distancia recorrida en tierra, el periodo de recuperación de la vegetación y la extensión territorial afectada por vientos y lluvias generados por cada fenómeno.

MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL

Ciclones tropicales

El Centro Nacional de Huracanes de los Estados Unidos de América (NHC, por sus siglas en inglés), define como ciclón: “una circulación cerrada atmosférica que gira en sentido contrario a las agujas del reloj en el hemisferio norte y en sentido horario en el hemisferio sur” (consultado en internet: <http://www.nhc.noaa.gov/aboutgloss.shtml>).

Caracterizándose por ser grandes masas de aire cálido y húmedo con intensos vientos, alrededor de una zona de baja presión (Rosengaus Moshinsky, et al., 2002).

Estructura

La estructura de los ciclones tropicales se compone de tres partes principales: a) Ojo: La parte central del sistema, presenta la zona de menor presión atmosférica, caracterizada por presentar relativa calma con vientos descendentes y velocidades no mayores a los 24 km/h, la extensión oscila entre los 20 y 60 km; b) Pared del ojo: Es la parte que rodea al ojo del ciclón, conformada por un anillo nuboso caracterizado por la presencia de tormentas eléctricas; c) Bandas de lluvia: conforman la mayor parte del cuerpo del ciclón, estas bandas se caracterizan por su desplazamiento en espiral, presentando zonas donde se origina fuertes ráfagas de viento y lluvia, llegando a cubrir una extensión que puede ir desde los 300 hasta los 900 km, según la categoría del fenómeno (Figura 1).

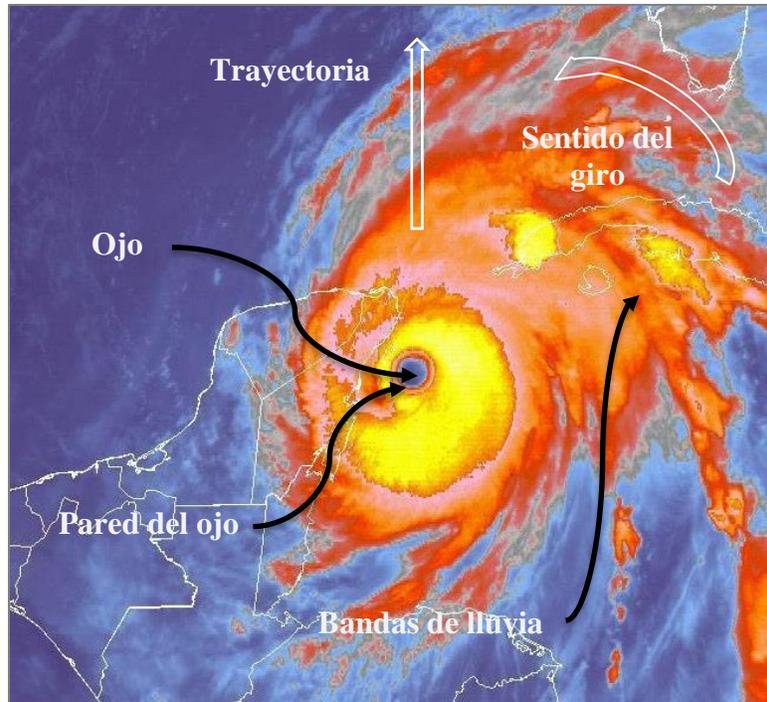


Figura 1: Huracán Wilma al contacto con tierra en el estado de Quintana Roo, México.
Imagen (Hernández Unzón y Bravo, 2005).

Clasificación

Con base en la intensidad de los vientos los ingenieros Herb Saffir y Bob Simpson (Schott, et al., 2012) desarrollaron la denominada escala de daño potencial *Saffir-Simpson*, como una estimación del daño potencial por viento y marea de un huracán próximo. La escala indica los probables daños materiales que los vientos pudieran provocar. Agrupa los huracanes en cinco (5) categorías principales de acuerdo con la velocidad máxima de viento (Cuadro 1).

Cuadro 1: Escala de daño potencial Saffir-Simpson.

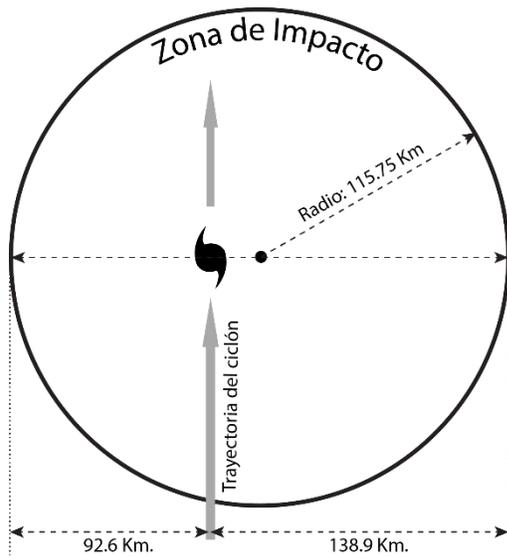
Tipo	Categoría	Presión (mb)	Vientos
Depresión tropical	DT	> 980	< 39 mph; 34 nudos; 63 km/h
Tormenta tropical	TT	> 980	40 - 73 mph; 34-63 nudos; 64 - 118 km/h
Huracán	1	980 -994	74-95 mph; 64-82 nudos; 119-153 km/h
Huracán	2	965-980	96-110 mph; 83-95 nudos; 154-177 km/h
Huracán	3	945-965	111-129 mph; 96-112 nudos; 178-208 km/h
Huracán	4	920-945	130-156 mph; 113-136 nudos; 209-251 km/h
Huracán	5	< 920	> 157 mph; > 137 nudos; > 252 km/h

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional. Consultado en internet: <http://smn.cna.gob.mx/es/ciclones-tropicales/etapas-de-evolucion>

Zona de Impacto

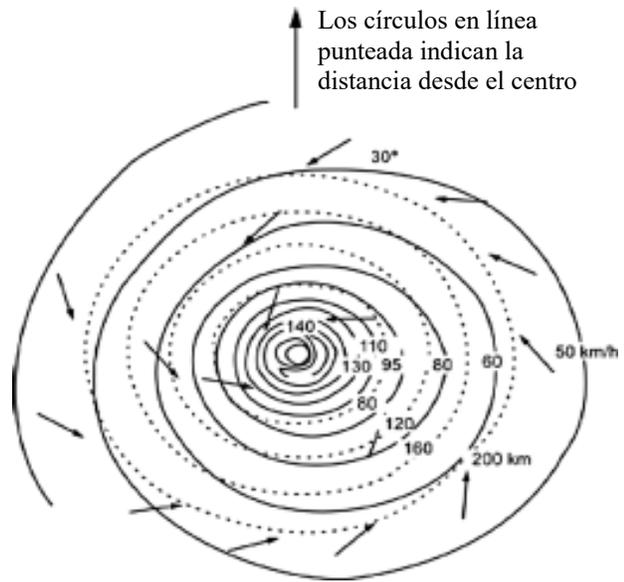
El NHC define el concepto de zona de impacto (*Strike*) como aquella zona comprendida dentro de un círculo de 231.5 km de diámetro, centrado a 23.15 km a la derecha del ojo del huracán (siguiendo la trayectoria del movimiento). El círculo representa la extensión típica de los vientos de un huracán, los cuales abarcan aproximadamente 139 km a la derecha del centro y 92.6 km hacia la izquierda (<http://www.nhc.noaa.gov/aboutgloss.shtml>).

En la Figura 2 se presenta el diagrama de la zona de impacto. Si bien, la extensión que pueden abarcar los vientos superficiales generados por un ciclón representa una gran área, los efectos más intensos se manifiestan a una distancia máxima denominada “radio máximo de vientos” (Figura 3).



Fuente: <http://www.nhc.noaa.gov/aboutgloss.shtml>

Figura 2: Zona de impacto definida por el Centro Nacional de Huracanes (NHC).



Fuente: Jiménez, 2003.

Figura 3: Campo de vientos de un ciclón tropical.

Es precisamente en el área comprendida dentro de la zona del “radio máximo de vientos”, donde se presentan las mayores afectaciones e impactos en los ecosistemas y centros de población (Jiménez Espinosa, et al., 2003).

Resiliencia

El concepto resiliencia, de acuerdo a Crawford Holling (1973) está definida en función de la capacidad de los sistemas de absorber perturbaciones antes de que estos se reorganicen con diferentes variables y procesos, de tal forma que la medición de la resiliencia de un sistema es medida a través de la magnitud de las perturbaciones a las que los sistemas son expuestos.

El concepto de resiliencia permite estimar, analizar y comprender los mecanismos y capacidades de los sistemas para mantenerse y persistir ante los cambios provocados por perturbaciones externas (sustentabilidad).

De acuerdo a Calvente (2007), este concepto desde su introducción en 1973 por Holling, tiene gran aceptación y desarrollo, gracias a que permite estudiar las relaciones de los efectos provocados por las actividades humanas en el medio natural, permitiendo evaluar los cambios provocados por las diversas acciones y actividades de las poblaciones, así como de las perturbaciones relacionadas con fenómenos de índole natural (fenómenos hidrometeorológicos, climáticos, tectónicos, etc.).

El concepto de resiliencia no hace referencia a propiedades absolutas de los sistemas, es un concepto variante en tiempo y espacio, el cual se encuentra estrechamente relacionado con la capacidad de auto restitución de los sistemas ante episodios de alteración extremos, sin sufrir degradación que implique una reorganización distinta a la existente previo a la aparición de los agentes perturbadores.

Índice Normalizado de Vegetación (NDVI)

El Índice Normalizado de Vegetación (NDVI, por sus siglas en inglés), fue propuesto por Rouse como la diferencia normalizada de dos bandas espectrales, cuya variación estandarizada, queda dentro de los valores -1 a +1. Este índice forma parte de los denominados “Índices Verdes”, siendo el NDVI además de uno de los más antiguos, uno de los más conocidos y más utilizados en la detección de cambios espacio-temporales de la vegetación (Gilabert, et al., 1997).

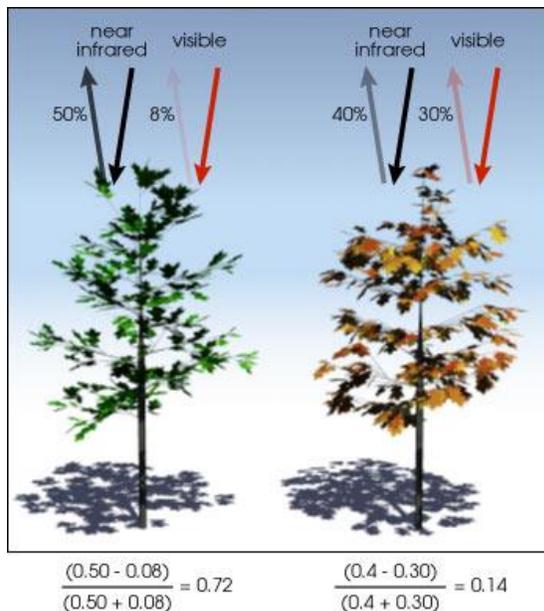
El NDVI, detecta la actividad fotosintética en la zona para la cual se calcula, los valores cercanos a -1, representan cuerpos de agua profundos, mientras que valores cercanos a +1,

representan cubiertas vegetales con crecimiento activo y una cobertura del suelo al 100%, el valor cero significa ausencia de vegetación. (Figura 4). Dada la facilidad para su cálculo, el NDVI, ha sido ampliamente utilizado en proyectos para la detección de cambios y estado de la vegetación como son: salud de cultivos, fenología, indicadores de sequías, humedad del suelo, índices de superficie de follaje, monitoreo de carbono, entre otros (Gómez-Mendoza, 2007; Gómez-Mendoza, et al., 2008; Alatorre, et al., 2010; Rodríguez López, et al., 2013).

Para la determinación del NDVI, se requiere contar con dos bandas espectrales: Rojo e Infrarrojo Cercano. La ecuación es la siguiente:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Dónde: NIR = Infrarrojo cercano y R = Rojo



Izquierda: La vegetación sana absorbe la mayoría de las ondas de luz visibles, reflejando una parte de la luz correspondiente al espectro cercano al infrarrojo, por su parte y de manera inversa, vegetación poco saludable o escasa, tiende a reflejar menos luz del espectro cercano al infrarrojo y más de la luz visible.

Figura 4: Ejemplo del cálculo del NDVI.

(Ilustración de Robert Simmon, en: http://www.nasa.gov/topics/earth/features/obscure_data.html).

Anomalía del NDVI

El concepto de anomalía está referido a la diferencia entre un valor medio de un instante en particular con respecto al valor promedio para el mismo periodo a lo largo del tiempo. En el caso del NDVI, como ejemplo, la anomalía de un mes o una dieciseisena en particular, está representada por la diferencia del periodo estudiado con respecto al valor medio del mismo mes o dieciseisena en un lapso de varios años. El método pretende caracterizar la condición de la vegetación de un instante dado, con relación a la media histórica del periodo (considerada como condición normal), de forma tal, que valores positivos de la $aNDVI$ representan un aumento en el vigor de la vegetación, mientras que valores negativos un estado inferior al esperado por la media.

De acuerdo con Wilks (1995), las anomalías normalizadas del NDVI, se determinan mediante la siguiente ecuación:

$$aNDVI_x = \frac{NDVI_x - NDVI_{xp}}{NDVI_{xs}}$$

Dónde:

$aNDVI_x$ = anomalía de NDVI estandarizada (o normalizada);

$NDVI_x$ = NDVI fecha X;

$NDVI_{xp}$ = NDVI promedio muestral; y

$NDVI_{xs}$ = NDVI desviación estándar muestral.

En el caso del cálculo de las anomalías estandarizadas, el *International Research Institute for Climate and Society* (IRI por sus siglas en inglés), define el concepto de climatologías del NDVI, como el promedio a largo plazo de una variable dada, para ello determina los valores promedio y de desviación estándar para cada periodo estudiado. Con los valores resultantes es posible determinar las anomalías, o la desviación de la media, para cada conjunto de datos, a través de la resta de los valores climatológicos (climatologías NDVI) y la posterior división entre la desviación estándar climatológica.

(<http://iridl.ldeo.columbia.edu/dochelp/StatTutorial/Climatologies/index.html#Intro>).

Dichas climatologías del NDVI, corresponden a los valores de NDVI promedio muestral (NDVI_{xp}) y NDVI desviación estándar muestral (NDVI_{xs}).

Provincia Fisiográfica: Península de Yucatán

México se caracteriza por su diversidad biológica y física, lo que se da como resultado de una compleja combinación de diversos tipos de climas, suelos, geología y biodiversidad. Tal diversidad implica una amplia gama y variedad de condicionantes para el desarrollo de las actividades económicas y sociales, así como en la forma en que los diversos fenómenos naturales impactan su territorio y en la sociedad (INEGI, 2005).

Para poder estudiar el territorio Nacional, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) dividió el país en 15 zonas que comparten condiciones similares en cuanto a su origen geológico y fisiográfico (Figura 5). Esta división dio como resultado las denominadas Provincias Fisiográfica, las cuales a su vez se subdividen en subprovincias (INEGI, 2001).



Figura 5: Mapa de Regiones o Provincias Fisiográficas de México. (INEGI, 2005).

Modelos estadísticos

Correlación múltiple

El coeficiente de correlación permite identificar si dadas dos variables, estas tienden a moverse juntas, el cálculo permite conocer el denominado “coeficiente de correlación de Pearson”, el cual devuelve valores entre -1 y +1, donde valores iguales o cercanos a cero (0), indican que no existe relación entre las variables y el signo (+ o -) indica si la relación es directa o inversamente proporcional. La regresión múltiple permite determinar el coeficiente de Pearson de un conjunto de variables, devolviendo los resultados en una matriz de correlación (Vilar Fernández, 2006).

La ecuación utilizada para analizar cada conjunto (par) de variables y obtener el coeficiente de correlación de Pearson es la siguiente:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x * S_y}$$

Dónde:

r = coeficiente de correlación de Pearson;

S_{xy} = covarianza de las variables X y Y;

S_x = Desviación típica de la variable X; y

S_y = Desviación típica de la variable Y.

Entre las principales características de este coeficiente destacan:

- Es independiente de la escala de medida de las variables consideradas.
- Al tomar valores entre -1 y 1, facilita la comparación entre los resultados calculados entre distintos tipos de variables.
- Fácil interpretación de las tendencias de relación entre variables.

Regresión lineal

De acuerdo con Vilar (2006), la regresión lineal, es otro método que permite conocer el comportamiento de una variable con respecto a otra. Este método toma una de las variables como dependiente y a la otra como dependiente. La relación entre ella queda expresada por la ecuación de la recta de regresión la cual tiene la siguiente forma:

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$$

Dónde:

X = variable independiente;

Y = variable dependiente;

α = punto de intersección con el eje Y;

β = pendiente de la recta; y

ε = error aleatorio.

ANTECEDENTES

Las técnicas de percepción remota y en particular la aplicación del Índice Normalizado de Vegetación (NDVI), han sido ampliamente estudiadas y aplicadas en diversas investigaciones relacionados con el estado que guarda la vegetación en estadios temporales determinados (Alatorre, et al., 2010; Gómez-Mendoza, et al., 2008; Rodgers, et al., 2009). Estos estados de la vegetación se han relacionado con fenómenos como las sequias, presencia de lluvias extremas y Cambio Climático, entre otros (Gómez-Mendoza, et al., 2007, 2008; De La Casa y Ovando, 2006; Sánchez, et al., 2000).

Un área en particular en la que estas técnicas han sido implementadas, es la relacionada con los efectos causado por fenómenos hidrometeorológicos extremos como es el caso de los Ciclones tropicales, asociados a las lluvias y vientos que los acompañan. Los estudios realizados van desde la evaluación de los daños a la vegetación, cambios en los usos de suelo, daños a la infraestructura urbana, hasta la identificación de escenarios de

vulnerabilidad por inundaciones y deslaves. Algunos ejemplos de estos trabajos se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Antecedentes investigativos sobre aplicación del NDVI.

AUTOR (ES)	CAMPOS DE ESTUDIO							
	Cambios de USV	Ciclones	Incendios	Sequias	Precipitación extrema	Remoción en maza	Cambio Climático	Biodiversidad
Alatorre <i>et al</i> , 2010.	X							
Bianchette <i>et al</i> , 2009.		X						
Clark <i>et al</i> , 2006.		X						
De La Casa <i>et al</i> , 2006.					X			
Gómez-Mendoza, L. 2007 ^a .				X			X	
Gómez-Mendoza, L. <i>et al</i> , 2007b.				X			X	
Gómez-Mendoza, L. <i>et al</i> , 2008.				X			X	
Granados-Ramírez, R. <i>et al</i> , 2004.								X
Granados-Ramírez, R. <i>et al</i> , 2008.	X							
Lam <i>et al</i> , 2011.		X						
Parenti <i>et al</i> , 2015.		X						
Ramsey III <i>et al</i> , 1997.		X						
Rodgers, J.C. <i>et al</i> , 2009.		X						
Rodríguez López, Olivia <i>et al</i> , 2013.				X				
Rouse, J. W. <i>et al</i> , 1974.	X							
Sánchez R. E. <i>et al</i> , 2000.							X	
Soría-Ruiz, J. <i>et al</i> , 2004.								X
Valdez, M.C. <i>et al</i> , 2010.						X		
Vandecar <i>et al</i> , 2011.								X

JUSTIFICACIÓN

La Península de Yucatán (PY) por su localización geográfica y las condiciones climatológicas que imperan sobre la zona del Golfo-Caribe, es objeto constante de la presencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos como es el caso de los ciclones tropicales, cuyas trayectorias al acercarse o tocar tierra firme tienden a alterar las condiciones presentes en los sistemas tanto ambientales como sociales. Por otra parte, con la cada vez mayor disponibilidad de productos generados a partir de la operación de satélites de observación atmosférica, el desarrollo e implementación de metodologías para el análisis e interpretación de la relación causa-efecto, originada por la presencia de ciclones tropicales en la península, trasciende de manera importante en el tema de la toma de decisiones, tanto en el ámbito de la protección de los ecosistemas, como de las infraestructura (medios de producción) vitales para el soporte de la sociedad.

Para la estimación de la resiliencia de la vegetación en la PY, se utilizó como base el concepto del NDVI, dado que sus valores representan los estados de verdor de la vegetación, por lo que es posible a través de su estudio, identificar los efectos inmediatos provocados por el paso de ciclones tropicales por tierra, así como los tiempos que cada tipo de vegetación requiere para su recuperación en relación a la intensidad de dichos fenómenos, resultando factible estimar y proyectar la capacidad de resiliencia de los ecosistemas (Gómez-Mendoza, 2007).

La técnica seleccionada para cuantificar y comparar estadísticamente la resiliencia de la vegetación en términos de su vigorosidad (estado de verdor) fue el método basado en el cálculo de las “anomalías estandarizadas del NDVI”, dado que, de acuerdo a Wilks (1995), resulta más conveniente el uso de datos de anomalía estandarizada, que la utilización de los

valores directos del NDVI o del cálculo de las anomalías basado únicamente en los valores promedios, esto debido a la variación estacional de los eventos climáticos y a que por lo general, proporcionan más información sobre la magnitud de las anomalías al eliminar las influencias de la dispersión.

Derivado de lo anterior, el estudio pretende demostrar que el uso de técnicas como las desarrolladas para estimar índices de vegetación, a partir del uso de imágenes satelitales (percepción remota), pueden ayudar a una rápida interpretación de los efectos que los ciclones tropicales tienen sobre la vegetación de la PY.

Por otro lado, la postura teórica desde la cual se planteó y desarrollo este proyecto, es dentro del marco de una Geografía Activa planteada por el Prof. Pierre Georges (1980), una Geografía enfocada en el estudio e interpretación de los efectos de fenómenos sobre el Espacio Geográfico y no en el estudio de los fenómenos *per se*. Es decir, los resultados del estudio permitirán comprender mejor los efectos de los ciclones sobre la vegetación y en consecuencia, identificar los efectos que dichos fenómenos tienen sobre los medios de producción y subsistencia de la sociedad que habita la región.

Es así como, desde una Geografía Activa (una Geografía Social) el estudio y estimación de las capacidades resilientes de la vegetación cobra importancia al fijarse como meta, identificar mecanismos que coadyuven a incrementar el conocimiento que favorezca los esfuerzos en pro del mantenimiento y sustento de las capacidades de producción de los bienes y servicios que el medio natural provee a los seres humanos (servicios ecosistémicos).

Por tanto, conocer y comprender la magnitud en tiempo y espacio de las alteraciones de los ciclos fenológicos provocadas por las perturbaciones derivadas del impacto de ciclones tropicales sobre la vegetación de la PY, podrá ofrecer nuevos elementos para llevar al cabo

acciones que permitan el diseño de estrategias de adaptación ante las perturbaciones provocadas por el incremento en intensidad y frecuencia del impacto en tierra de ciclones tropicales.

OBJETIVOS

Objetivo general.

1. Estimar la resiliencia de la vegetación ante el impacto en tierra de ciclones tropicales, a través de las variaciones de las anomalías estandarizadas del NDVI.

Objetivos específicos.

1. Evaluar el efecto de las trayectorias de ciclones tropicales en la cobertura vegetal de la Península de Yucatán, a través de la variación de anomalías del NDVI.
2. Estimar el área máxima de impacto tras el paso de ciclones tropicales, según categoría y trayectoria.
3. Identificar la existencia de patrones de correlación entre la intensidad, trayectoria y superficie afectada por ciclones tropicales.

HIPÓTESIS

La implementación de índices verdes como es el caso de las anomalías estandarizada del NDVI, ofrece una manera rápida, eficaz y por tanto confiable para estimar la resiliencia de la vegetación de la Provincia Fisiográfica Península de Yucatán, a través de la evaluación de los alcances y extensión del impacto sobre la cobertura vegetal, provocado por los vientos asociados a la presencia de ciclones tropicales durante su paso por tierra.

ZONA DE ESTUDIO

Criterios de selección del área de estudio

En el caso de la Península de Yucatán, se presentan dos regiones fisiográficas, la número 11 denominada “Península de Yucatán” que cubre más del 90% de su superficie y la número 13, “Llanura Costera del Golfo Sur” a la que pertenece la parte sur del estado de Campeche. (Figura 6).

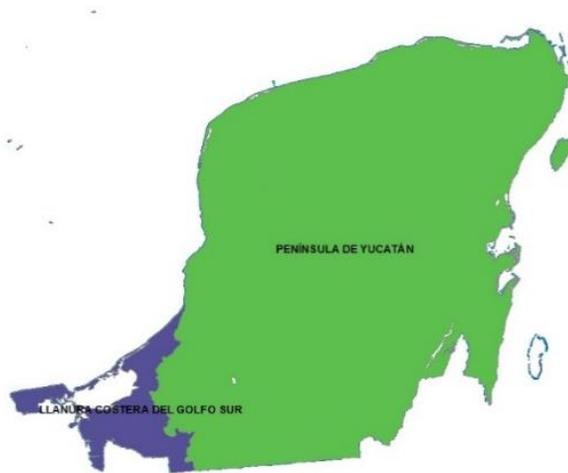


Figura 6: Provincias Fisiográficas en la Península de Yucatán (INEGI, 2005).

Las características comunes de la Provincia fisiográfica Península de Yucatán (PFPY), sirven como marco de referencia para poder aislar los cambios medios históricos de las climatologías determinadas a partir del análisis del NDVI, ofreciendo un marco de

referencia de los valores medios históricos en la región, con lo cual es posible comparar las diferencias de las anomalías estandarizadas del NDVI ocasionadas por los efectos de la presencia de vientos y lluvias al impacto en tierra de los ciclones tropicales. Por lo que, para la delimitación de la zona de estudio (Figura 7) se tomó como base la provincia fisiográfica denominada Península de Yucatán, del mapa de 'Provincias Fisiográficas de México' de (INEGI, 2001).

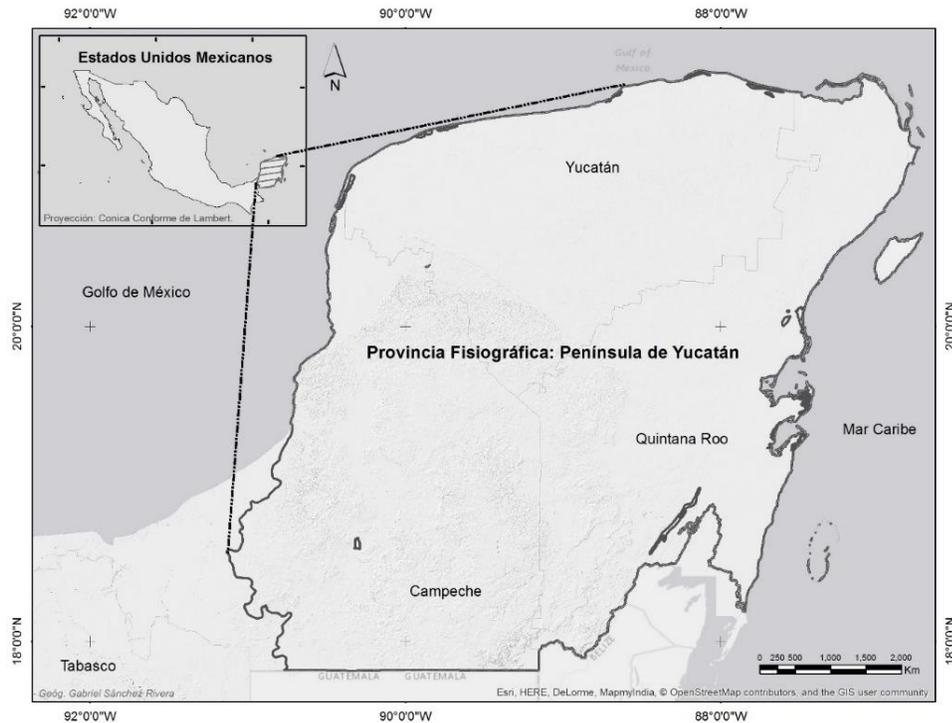


Figura 7: Delimitación del área de estudio.

Descripción del área de estudio

Provincia fisiográfica: Península de Yucatán

La península de Yucatán se localiza entre los 17.8° y 21.6° de latitud norte y los 86.7° y 92.4° de longitud oeste, está conformada por una amplia extensión de escaso relieve, donde sus máximas altitudes (del orden de los 300 m) se presentan hacia la meseta baja tectónica de Zoh Laguna, la cual corre de norte a sur, entre los límites de Campeche y Quintana Roo

(Vidal Zepeda, 2005). El resto de la región se caracteriza por estar conformada por una gran plataforma de rocas calcáreas marinas, cuya elevación promedio es menor a 50 msnm.

La PFPY está constituida en su mayoría por estratos calizos más o menos horizontales, la cual tiene como característica principal un estrato sólido de calizas de fuerte proceso de karstificación. La provincia se conforma por una gran plataforma de rocas calcáreas marinas que ha venido emergiendo de las aguas desde hace millones de años.

La superficie de la Península de Yucatán se distribuye en tres subprovincias fisiográficas (Cervantes-Zamora, et al., 1990):

- Carso Yucateco, que abarca más del 50% en el centro y norte del estado.
- Carso y Lomeríos de Campeche, en el suroeste colindando con Campeche.
- Costa Baja de Quintana Roo, en el sur adyacente a Belice y sobre la línea de costa al este y sureste de la entidad.

Las características kársticas del suelo se traducen en la carencia de corrientes superficiales por lo que el agua se infiltra originando grandes flujos de aguas subterráneas que han dado lugar a la formación de dolinas (cenotes), grutas y aguadas (Maples - Vermeersch, 1992). Abarca la totalidad de los estados de Yucatán y Quintana Roo y la mayor parte del territorio de Campeche (INEGI, 2005).

Debido a la losa calcárea sobre la que se encuentra la región, la cual presenta un alto grado de solubilidad de las rocas, son frecuentes las dolinas y depresiones con acumulaciones de arcillas de descalcificación; presentando una superficie rocosa con ligeras ondulaciones careciendo en casi toda su extensión de la presencia de un sistema de drenaje superficial.

Hacia la zona litoral son frecuentes las salientes rocosas, caletas, pequeños escarpes, cordones y espolones, así como lagunas pantanosas intercomunicadas con el mar por

canales o bocas, así como de extensas llanuras de inundación que propician el desarrollo de comunidades de mangle.

Debido a que la Península de Yucatán descansa sobre una laja de reciente formación donde no existen placas tectónicas en reacomodo, las probabilidades de movimientos telúricos son muy bajas, por lo que se considera como zona asísmica.

En la zona de la PFPY, se presenta dos tipos de climas principales, el primero de tipo cálidos húmedos con intervalo de temperatura promedio de 24 -26 °C y el segundo, muy cálidos con temperaturas entre de 26 a 28 °C, los límites entre zonas térmicas que dividen los climas cálidos húmedos se pueden apreciar en la isoterma divisoria de los 26 °C.

La zona cálida se distribuye aproximadamente de Norte a Sur desde Progreso hasta la porción central sur de Calakmul en el límite con El Petén Guatemalteco.

Por su parte, la región occidental es catalogada como muy cálida, las temperaturas máximas más elevadas se registran hacia el Estado de Campeche en Laguna de Términos y Ciudad del Carmen. Por otro lado, las temperaturas más frescas, cercanas a los 25.5 °C, se presentan hacia el oriente del estado de Yucatán en el municipio de Tizimín. Otra zona de mínima temperatura media se presenta en Álvaro Obregón, hacia la cuenca del Río Hondo, localizado al sur del estado de Quintana Roo y en la isla Cozumel (Orellana, et al., 2009).

Durante el verano, cuando el Sol alcanza su mayor altura sobre el horizonte, la región se encuentra bajo la influencia del aire marítimo templado y húmedo que se genera en la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI). En época de invierno, cuando la altura del sol es menor, predominan los Vientos Alisios del este y sudeste, intensificándose en la estación más cálida, debido al desplazamiento hacia el norte de la celda de alta presión Bermuda-Azores. Esta condición climática incrementa la distancia recorrida por los vientos sobre el Océano Atlántico Norte, lo que acarrea abundante humedad.

En la zona se presentan también procesos de tipo convectivo, lo que favorece la formación de nubes tipo *cumulonimbos* o *cumulos congestus*, las cuales se asocian al tipo de precipitación convectiva, caracterizada por la presencia de chaparrones cuya duración e intensidad varían rápidamente, presentándose en zonas relativamente pequeñas y bien definidas. Este tipo de precipitación es característica de las zonas tropicales.

De acuerdo con Vidal (2005) en los meses de mayo a octubre se presenta la temporada de lluvias, exceptuando (en mayo) la franja litoral del Golfo de México la cual recibe lluvia moderada. Es hacia septiembre que se presentan las mayores precipitaciones (superior a 200 mm), por influencia de la presencia de ciclones tropicales. En contra parte, la temporada de secas, se manifiesta en los meses de noviembre a abril, con eventuales lloviznas muy escasas asociadas a los “nortes” (menor a 60 mm). Los meses más secos son febrero, marzo y abril en la franja litoral del noroeste, la cual recibe menos de 16 mm de lluvia y en el litoral del Caribe donde desaparece la franja lluviosa.

Los principales fenómenos a los que está expuesta la zona son los denominados nortes, tormentas tropicales y huracanes. La temporada de huracanes comprende los meses de junio a noviembre, mientras que la de nortes se presenta en los meses de noviembre a enero.

De acuerdo con la Clasificación del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), la PY se cataloga como de riesgo alto a la incidencia de ciclones y huracanes, ya que pertenece a la zona ciclógena del Atlántico Norte, donde se generan los ciclones tropicales del Caribe. La época de mayor incidencia histórica de huracanes corresponde a los meses de septiembre y octubre. No obstante, algunos de los ciclones de mayor intensidad se han presentado fuera de ese periodo, como es el caso del huracán *Emily* en julio del año 2005.

DATOS Y METODOLOGÍA

Adquisición de datos.

Compuestos NDVI

Para el presente estudio se utilizaron las series de tiempo de NDVI para el periodo 2000-2012, generadas a partir de imágenes MODIS a una resolución espacial de 250 m/píxel, de la biblioteca de datos climáticos del IRI (*International Research Institute for Climate and Society*, disponible en internet en la página: <https://iri.columbia.edu/>).

Las 299 imágenes adquiridas corresponden a las producidas mediante el algoritmo MODIS VI, el cual opera sobre una base por píxel, basado en múltiples observaciones en un período de 16 días (dieciseisenas), generando un producto denominado: “Compuestos de 16 días”. Ejemplo de uno de los compuestos se muestra en la Figura 8.

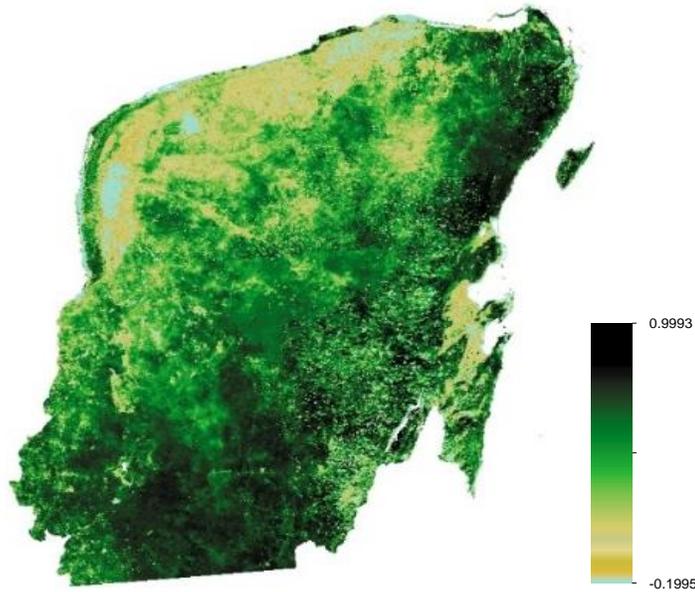


Figura 8: Valor medio del NDVI del compuesto del periodo del 18/02/2000 al 4/04/2000.
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.USGS/.LandDAAC/.MODIS/.version_005/.SNA/.NDVI/

Ciclones tropicales

Las trayectorias y características de los ciclones tropicales que han impactado a la zona de estudio se obtuvieron de la base de datos del *International Best Track Archive for Climate Stewardship* (IBTrACS por sus siglas en inglés) administrada por la NOAA. (<https://www.ncdc.noaa.gov/ibtracs/index.php>).

Durante el periodo 2000-2012, se identificaron veintiún (21) ciclones que cruzaron el territorio de la zona de estudio (Figura 9).

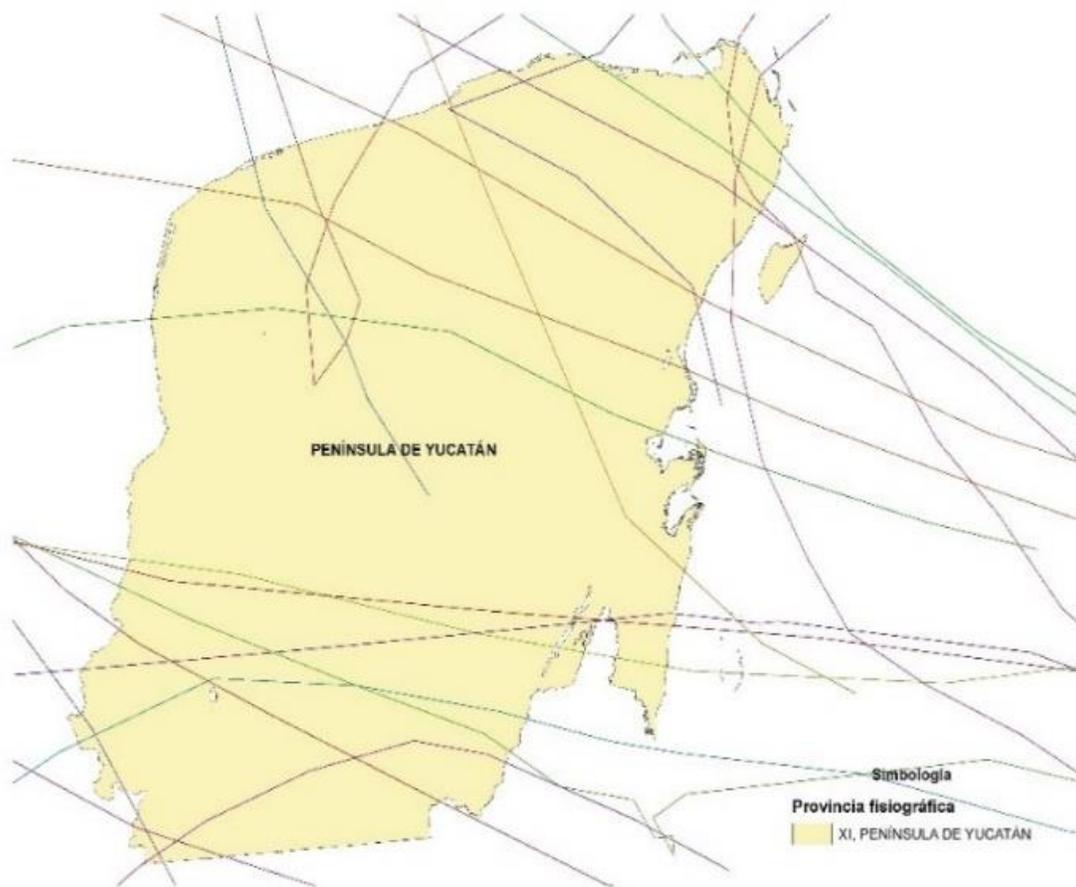


Figura 9: Trayectorias de los ciclones tropicales que tocaron la zona de estudio.

Usos de suelo y vegetación

Para la clasificación de los usos de suelo y vegetación (USV) se tomó como base el continuo nacional de 'Uso del suelo y vegetación, escala 1:250,000 serie IV' (INEGI, 2009), el cual se obtuvo desde el portal de Geoinformación de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). En la Figura 10 se aprecia la distribución de los usos de suelo y vegetación en la zona de estudio.

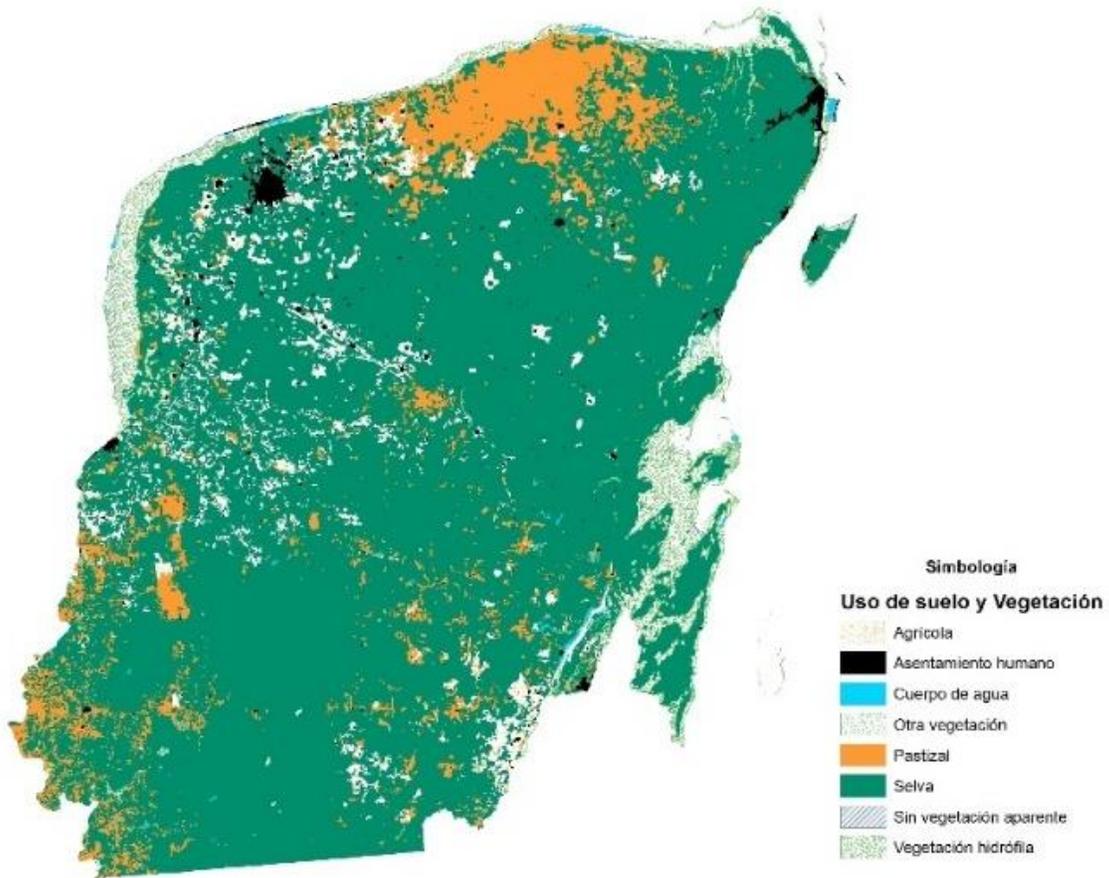


Figura 10: Uso del suelo y vegetación, escala 1:250,000, serie IV.

Metodología.

Para cumplir con los objetivos del estudio se procesaron los datos fuentes y analizaron los resultados en dos escalas, la primera a nivel peninsular, la cual tomó como base la PFPY y la segunda a nivel regional, la cual considera las zonas de influencia de las trayectorias seguidas por cada uno de los ciclones estudiados. En la Figura 11, se presenta el diagrama metodológico

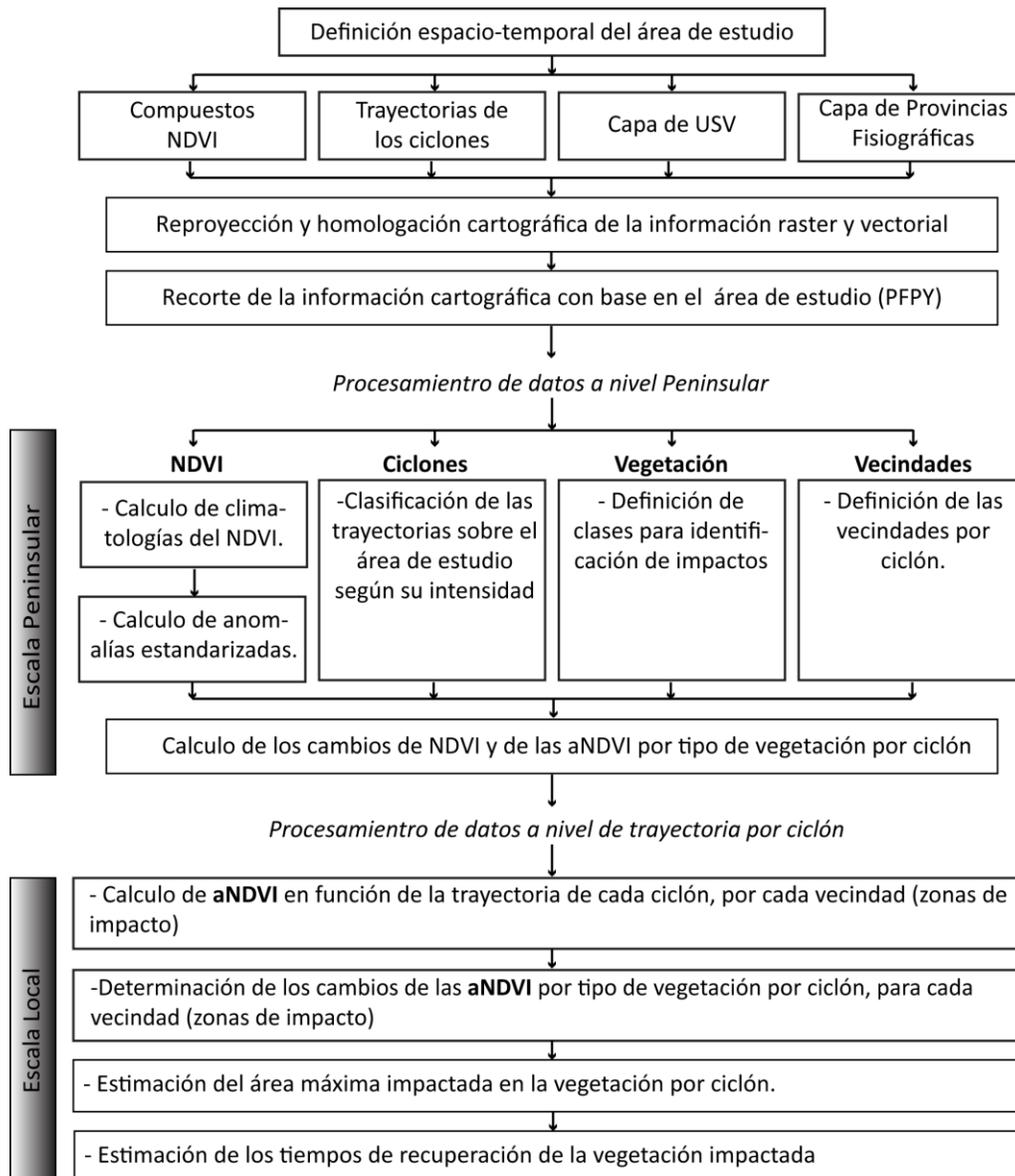


Figura 11: Diagrama metodológico.

La descripción de cada uno de los procesos seguidos se describe a continuación:

Escala peninsular

El trabajo en esta primera escala tuvo como meta principal: a) la homologación y ajustes preliminares de los archivos fuente, para garantizar la congruencia de los parámetros cartográficos; b) el cálculo de los valores de las climatologías del NDVI, las cuales representan los valores considerados como normales (condición de normalidad); y c) establecer la base para el posterior procesamiento a nivel regional de cada uno de los ciclones estudiados. Los procesos realizados en cada caso fueron los siguientes:

Una vez adquiridas las diversas capas vectoriales e imágenes *raster* requeridas para el estudio, se procedió a realizar la reproyección y homologación cartográfica, todos los materiales se llevaron a la proyección Cónica Conforme de Lambert (CCL), la cual es la recomendada por (INEGI, 1987) para estudio de carácter interestatal.

Mediante el uso del programa de computo (*ArcGis*) y la función “*Raster Calculator*” se determinaron las climatologías del NDVI para el periodo 2000-2012. Cada periodo anual se compone de veintitrés (23) compuestos, por lo que para cada uno de ellos se calcularon los valores medios ($n=23$) y la desviación estándar ($n=23$).

Con las imágenes obtenidas para los valores medios y la desviación estándar, se procedió al cálculo de las anomalías estandarizadas de NDVI, para cada una de las capas que integran el periodo de estudio ($n=299$). Los pasos anteriores tienen como característica que los cálculos se llevaron al cabo a nivel de pixel.

Por lo que respecta a los tipos de vegetación en la zona de estudio, se efectuó una reclasificación de la información obtenida de la capa de usos de suelo y vegetación IV, dejando únicamente la correspondiente a los siguientes: selva, pastizal, agrícola y vegetación hidrófila.

Con los resultados anteriores, se llevó a cabo el cálculo de la correlación entre los tipos de vegetación y las capas del NDVI y aNDVI, logrando obtener los valores para cada caso con respecto a las diferentes coberturas vegetales a nivel de la PFPY.

Escala regional

Con la finalidad de aislar los efectos provocados por el impacto en tierra de los ciclones tropicales, así como para definir su área de influencia, se determinaron las denominadas (para este estudio) Vecindades (V), para lo cual se tomó como línea base el concepto de Zona de Impacto (ZI) de un ciclón típico, definido por el NHC.

Las vecindades delimitadas para el análisis de los impactos se estimaron en tres niveles: V:100, V:200 y V:300 km, teniendo como eje central la trayectoria de cada ciclón, es decir, se estimaron tres áreas de influencia (*buffer*) con una distancia perpendicular a la trayectoria del ciclón de 50, 100 y 150 km (Figura 12).

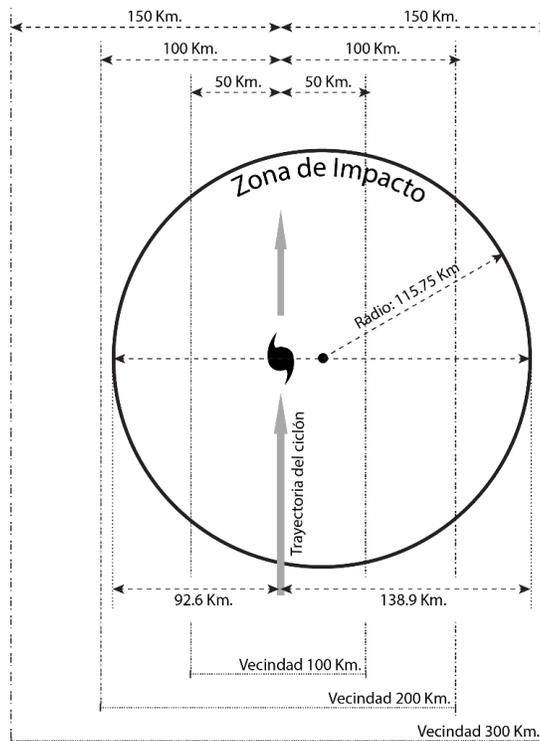


Figura 12: Delimitación de vecindades y zona de impacto definido por el NHC.

Las vecindades propuestas cubren toda la extensión considerada para la ZI y a partir de ahí, se redujo el área de estudio, lo que permitió el cálculo puntual o local de los valores de las aNDVI en las zonas afectadas por el fenómeno en cuestión, eliminando de la ecuación aquellos valores que no son resultado del efecto del meteoro y que por tanto, pueden influir en los valores de la media aritmética y la desviación estándar calculadas (climatologías del NDVI) Ver Figura 13.

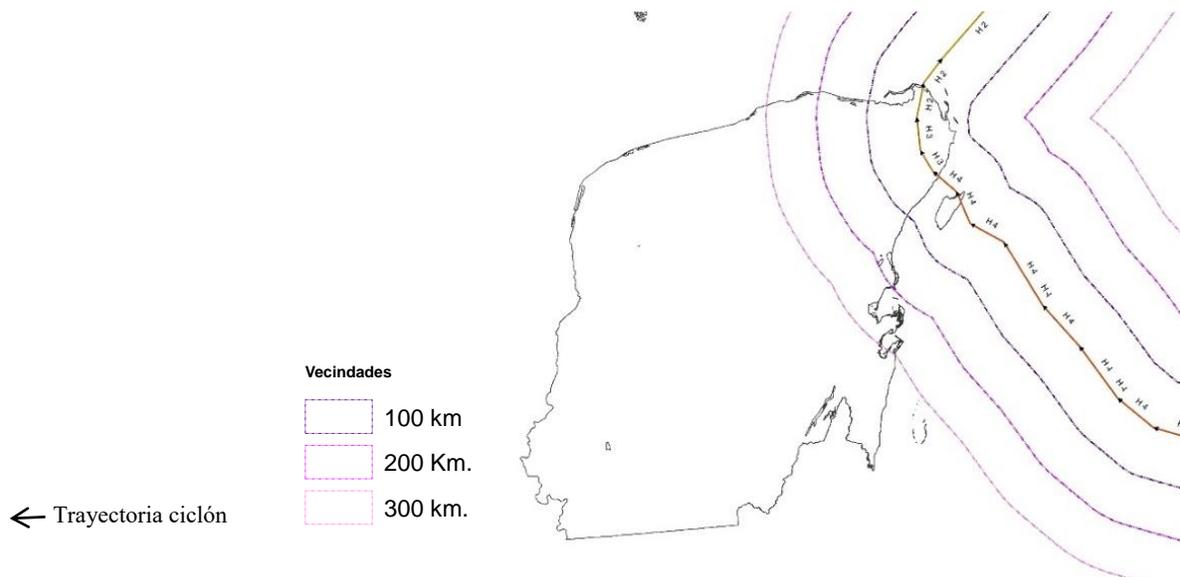


Figura 13: Ejemplo de la trayectorias y zonas de impacto para el ciclón: Wilma.

Posteriormente se llevaron a cabo los análisis de los efectos de los impactos provocados por cada ciclón en lo individual. Para ello se recalcularon los valores de las aNDVI en función de la trayectoria y las vecindades definidas para cada meteoro sin distinguir los tipos de vegetación.

Dado que en la etapa anterior (procesamiento de datos a nivel peninsular), los valores de los NDVI y las climatologías del NDVI se obtuvieron con base a pixel, se procedió a generar imágenes recortadas para cada ciclón y cada una de las ZI correspondientes. Con los recortes obtenidos, se recalcularon mediante la función “*Raster Calculator*”, los valores de

las aNDVI para cada combinación Ciclón/ZI (n=63). Esta operación se repitió seis veces, una para cada compuesto entre el previo al impacto de ciclón en tierra y cuatro posteriores (n=378).

Para la comparación y análisis de los resultados, los valores de las aNDVI obtenidas en cada caso se agruparon en siete (7) clases (Cuadro 3).

Cuadro 3: Clasificación de las aNDVI.

Escala	Clase	Rango
	Déficit extremo	< -3
	Déficit moderado	-3 a -2
	Déficit ligero	-2 a -1
	Normal	-1 a 1
	Superávit ligero	1 a 2
	Superávit moderado	2 a 3
	Superávit extremo	> 3

Para obtener la extensión de las áreas afectadas (estado de verdor de la vegetación) por el paso de los ciclones, se estimó el porcentaje de la superficie ocupada por los valores de las clases déficit moderado y extremo. Esto se llevó a cabo tomando como base la frecuencia de píxeles según las clases definidas con relación a la superficie representada por cada tipo de vegetación, en cada vecindad por cada compuesto.

De acuerdo con la definición de las anomalías estandarizadas del NDVI, el estado normal o condición de normalidad queda representada por los valores cercanos a cero, es decir, valores entre -1 y 1.

Como siguiente paso, se procedió a identificar los valores de la aNDVI a nivel del tipo de vegetación, para ello, con las imágenes resultantes del paso anterior y con el uso de la función “*Zonal Histogram*”, se obtuvieron las matrices de relación vegetación vs aNDVI

(n=378), lo que permitió estimar la extensión y tipo de impacto por cada tipo de vegetación por compuesto.

La estimación de la capacidad de regeneración de las diferentes coberturas vegetales consideradas en este estudio, se llevó a cabo mediante la comparación temporal del estado y superficie afectada en un periodo comprendido entre un compuesto anterior y cuatro compuestos posteriores al impacto del ciclón en tierra, mediante la comparación espacio-temporal se estimaron los tiempos (compuestos) en que cada tipo de vegetación después del paso del meteoro retornaron o se acercaron a valores similares a los que se presentaron antes de la aparición del agente perturbador (ciclón). Es decir, dado que para el presente estudio se tomaron como referencia los valores de las clases déficit moderado y extremo, lo que se estimó fueron los tiempos en que los valores extremos de las aNDVI, por tipo de cobertura vegetal desaparecieron o disminuyeron a valores iguales o cercanos a los presentados antes del impacto de cada ciclón.

Dado el volumen de capas e imágenes a procesar en cada una de las etapas y la demanda de capacidad de cómputo requerida para ello, las operaciones de carácter iterativo se procesaron mediante el diseño y programación de algoritmos en el lenguaje de programación *python* incluido en el software *ArcGis*. Ello permitió ejecutar las operaciones por lotes (*batch*, en inglés) lo que se tradujo en un proceso más limpio y eficiente, reduciendo los posibles errores de carácter humano al operar el sistema de información geográfica (SIG).

Finalmente, una vez concluidos los pasos anteriores, se realizó un análisis comparativo para identificar la existencia de patrones y/o correlaciones entre la intensidad y trayectoria de cada ciclón, la superficie impactada y los cambios de las aNDVI.

RESULTADOS

Ciclones tropicales

A partir de la base de datos obtenida del IBTrACS (2013), para el periodo 2000-2012, se obtuvieron los registros del paso de 21 ciclones por el área de estudio, de los cuales 13 alcanzaron la categoría de huracán en algún momento de su trayecto (Cuadro 4), manteniendo dicha categoría únicamente cinco (5) de ellos al momento de su impacto y/o paso por tierra (Cuadro 5).

Cuadro 4: Ciclones tropicales por año y por máxima intensidad registrada.

		Máxima categoría registrada					Eventos anuales	
		DT	TT	Huracan 1	Huracan 2	Huracan 3		Huracan 4
A ñ o	2000			Gordon			Keith	2
	2001		Chantal					1
	2002					Isidore		1
	2003		Bill, Larry	Claudette				3
	2004							
	2005			Cindy, Stan			Emily, Wilma	4
	2006							
	2007			Olga			Dean	2
	2008			Arthur		Dolly		2
	2009							
	2010				Alex, Richard		Karl	3
	2011			Rina		Ernesto		2
2012			Helene				1	
Total de eventos registrados							21	

Cuadro 5: Ciclones tropicales por año y por máxima intensidad registrada en tierra.

	Año	Máxima categoría registrada en tierra					Eventos anuales	
		DT	TT	Huracan 1	Huracan 2	Huracan 3		Huracan 4
	2000	Gordon	Keith					2
	2001		Chantal					1
	2002				Isidore			1
	2003	Bill, Larry	Claudette					3
	2004							
	2005	Cindy	Stan				Emily, Wilma	4
	2006							
	2007	Olga					Dean	2
	2008		Arthur, Dolly					2
	2009							
	2010		Alex, Karl, Richard					3
	2011		Rina		Ernesto			2
	2012	Helene						1
							Total de eventos registrados	21

Las fechas de ocurrencia de cada fenómeno, fecha de impacto en tierra y categorías registradas se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6: Fechas de ocurrencia y categorías por ciclón.

Ciclón	Categoría Máx.	General				Impacto en Tierra			
		Fecha/hora (UTC) Inicio	Fecha/hora (UTC) Fin	Vientos Máx. Sostenidos [Km/hr]	Distancia recorrida	Categoría en Tierra	Fecha/hora (UTC)	Vientos Máx. Sostenidos [Km/hr]	Distancia recorrida
Gordon	H1	14/09/2000 12:00	21/09/2000 00:00	130	3,884.12	DT	17/09/2000 06:00	130	275.15
Keith	H4	28/09/2000 18:00	06/10/2000 06:00	222	2,179.30	TT	01/10/2000 06:00	222	249.26
Chantal	TT	14/08/2001 18:00	22/08/2001 06:00	111	6,103.02	TT	19/08/2001 06:00	111	276.27
Isidore	H3	14/09/2002 18:00	27/09/2002 12:00	204	6,491.49	H3	21/09/2002 18:00	204	301.87
Bill	TT	28/06/2003 06:00	02/07/2003 18:00	93	2,568.58	DT	30/06/2003 12:00	93	210.71
Claudette	H1	07/07/2003 00:00	17/07/2003 06:00	139	6,369.85	TT	15/07/2003 12:00	139	126.48
Larry	TT	27/09/2003 18:00	07/10/2003 12:00	102	1,804.30	DT	03/10/2003 00:00	102	303.85
Cindy	H1	03/07/2005 18:00	11/07/2005 00:00	120	4,948.72	DT	06/07/2005 00:00	120	296.82
Emily	H5	11/07/2005 00:00	21/07/2005 06:00	259	6,594.79	H4	17/07/2005 00:00	259	209.40
Stan	H1	01/10/2005 12:00	05/10/2005 00:00	130	1,358.86	TT	04/10/2005 12:00	130	323.03
Wilma	H5	15/10/2005 18:00	26/10/2005 12:00	296	5,668.83	H4	19/10/2005 12:00	296	99.99
Dean	H5	13/08/2007 06:00	22/08/2007 18:00	278	7,659.14	H5	21/08/2007 06:00	278	315.40
Olga	TT	10/12/2007 12:00	16/12/2007 00:00	93	3,469.79	DT	11/12/2007 18:00	93	63.49
Arthur	TT	31/05/2008 00:00	01/06/2008 18:00	74	419.81	TT	31/05/2008 06:00	74	231.52
Dolly	H2	20/07/2008 12:00	26/07/2008 18:00	157	3,026.07	TT	23/07/2008 12:00	157	175.76
Alex	H2	24/06/2010 18:00	01/07/2010 18:00	167	2,485.80	TT	01/07/2010 00:00	167	212.34
Karl	H3	13/09/2010 18:00	18/09/2010 00:00	204	2,082.27	TT	17/09/2010 12:00	204	303.62
Richard	H2	19/10/2010 18:00	26/10/2010 06:00	157	1,928.58	TT	25/10/2010 00:00	157	57.57
Rina	TT	22/Oct/2011 00:00	29/Oct/2011 18:00	185	1,633.80	TT	28/10/2011 02:00	185	98.92
Ernesto	H2	01/08/2012 12:00	10/08/2012 01:00	157	5,585.08	H2	08/08/2012 00:00	157	342.30
Helene	TT	09/08/2012 18:00	18/08/2012 18:00	74	6,420.32	DT	16/08/2012 00:00	74	79.28

Nota: Velocidad máx. de viento tomada de la base de datos del IBTrACS y convertida de nudos a km/hr.

Vegetación

El área de estudio corresponde a la Región Fisiográfica denominada Península de Yucatán, la cual comprende una extensión territorial aproximada de 126,547.38 km².

Como resultado de la reclasificación de la información contenida en la carta de USV, se obtuvieron las siguientes clases: selva, pastizal, agrícola y vegetación hidrófila (Figura 14), las cuales ocupan poco más del 98% de la superficie de la región.

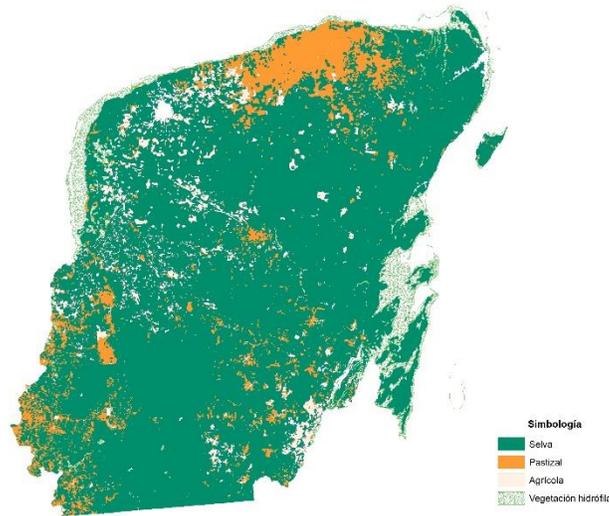


Figura 14: Uso del suelo y vegetación, escala 1:250,000, serie IV, utilizados en el presente estudio.

Las selvas son el tipo de vegetación predominante en la región (Cuadro 7), ocupando cerca del 78% de la superficie total, seguido de lejos por los pastizales con una extensión de menos del 10%.

Cuadro 7: Extensión ocupada por tipo de vegetación.

Tipos de vegetación	[Km ²]	[%]
Selva	98,751.76	78.04
Pastizal	12,140.42	9.59
Agrícola	6,565.81	5.19
Vegetación hidrófila	6,612.33	5.23
Otros	2,477.07	1.96
Sumatoria	126,547.38	100

NDVI, Climatologías y Anomalías de NDVI

La matriz con los resultados de los valores medios del NDVI obtenidos para cada uno de los compuestos adquiridos en el periodo estudiado se muestra en el Cuadro 8. Las casillas sombreadas corresponden a compuestos faltantes dentro de la base de datos del IRI.

La base de datos del IRI comienza a ofrecer información a partir de la segunda quincena del mes de febrero del año 2000, por lo que no se cuenta con los compuestos 1 a 3 del mismo año. En el caso de los compuestos: 13 del 2003, 13 del 2008 y 20 del 2010, tampoco se dispone de ellos debido a que no fue posible su integración a causa de no contar con imágenes con la calidad (libres de nubes) suficientes para su elaboración, cabe destacar que dichos faltantes corresponde a los periodos en que se presentaron los impactos de ciclones en la región, lo que genero la presencia de nubosidad que cubrió la Península durante varios días.

El cálculo de las Climatologías del NDVI (medias y desviación estándar) se realizó mediante la función “*Cell Statistics*” de *ArcGis*.

En la Figura 15, se muestra la gráfica de los valores NDVI para el periodo estudiado. En la parte superior de la imagen, se indican los momentos en que presentaron los ciclones que tuvieron contacto con tierra (ciclón – clasificación). En la figura se pueden apreciar las variaciones fenológicas anuales de la vegetación de la zona de estudio (PFY).

Cuadro 8: Valores medios de NDVI por compuesto.

NDVI	Años													Climatologías NDVI			
														Med	Dst		
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012				
Compuesto																	
01	0.817±0.113	0.818±0.106	0.828±0.11	0.828±0.11	0.814±0.116	0.782±0.123	0.803±0.109	0.809±0.127	0.801±0.12	0.765±0.141	0.821±0.106	0.751±0.123	0.806±0.114	0.7988	0.0553		
02	0.777±0.122	0.789±0.124	0.815±0.111	0.789±0.122	0.789±0.122	0.758±0.128	0.785±0.109	0.821±0.112	0.787±0.125	0.782±0.127	0.806±0.108	0.746±0.121	0.775±0.141	0.7829	0.0582		
03	0.729±0.138	0.772±0.132	0.762±0.129	0.738±0.132	0.703±0.132	0.783±0.117	0.783±0.117	0.81±0.115	0.771±0.145	0.751±0.137	0.777±0.106	0.75±0.127	0.774±0.12	0.7568	0.0720		
04	0.717±0.142	0.724±0.13	0.782±0.104	0.745±0.125	0.747±0.119	0.637±0.133	0.745±0.125	0.797±0.103	0.777±0.109	0.698±0.14	0.737±0.124	0.731±0.119	0.748±0.127	0.7341	0.0714		
05	0.66±0.149	0.686±0.138	0.775±0.12	0.692±0.135	0.689±0.129	0.631±0.136	0.704±0.126	0.775±0.114	0.753±0.112	0.648±0.149	0.697±0.128	0.704±0.126	0.699±0.142	0.6974	0.0832		
06	0.665±0.132	0.655±0.14	0.743±0.116	0.683±0.126	0.676±0.136	0.641±0.13	0.675±0.126	0.73±0.134	0.74±0.12	0.629±0.153	0.646±0.136	0.667±0.13	0.657±0.135	0.6738	0.0800		
07	0.644±0.134	0.63±0.143	0.714±0.131	0.737±0.126	0.672±0.139	0.655±0.133	0.653±0.124	0.701±0.127	0.727±0.124	0.605±0.144	0.626±0.138	0.633±0.136	0.655±0.135	0.6620	0.0814		
08	0.625±0.133	0.667±0.158	0.678±0.133	0.674±0.162	0.639±0.162	0.684±0.142	0.607±0.135	0.675±0.137	0.708±0.129	0.574±0.156	0.703±0.136	0.616±0.144	0.716±0.136	0.6317	0.0934		
09	0.634±0.16	0.75±0.149	0.622±0.156	0.672±0.139	0.786±0.139	0.696±0.148	0.614±0.148	0.683±0.142	0.662±0.134	0.599±0.162	0.696±0.161	0.598±0.137	0.7±0.147	0.6677	0.1100		
10	0.697±0.154	0.758±0.159	0.741±0.138	0.684±0.146	0.808±0.124	0.75±0.134	0.718±0.148	0.727±0.149	0.665±0.171	0.625±0.157	0.764±0.133	0.61±0.146	0.762±0.143	0.7144	0.1139		
11	0.767±0.142	0.784±0.143	0.785±0.148	0.754±0.143	0.782±0.134	0.772±0.135	0.789±0.144	0.783±0.146	0.775±0.142	0.722±0.145	0.765±0.154	0.689±0.149	0.755±0.149	0.7646	0.1018		
12	0.799±0.131	0.792±0.146	0.785±0.139	0.769±0.131	0.784±0.137	0.796±0.138	0.772±0.156	0.799±0.132	0.722±0.166	0.745±0.14	0.746±0.15	0.692±0.152	0.782±0.129	0.7677	0.1051		
13	0.818±0.112	0.818±0.133	0.814±0.13		0.801±0.127	0.783±0.151	0.79±0.141	0.784±0.138		0.755±0.124	0.762±0.161	0.793±0.139	0.791±0.136	0.7907	0.0893		
14	0.77±0.145	0.797±0.151	0.811±0.115	0.808±0.139	0.817±0.11	0.778±0.126	0.801±0.146	0.8±0.132	0.806±0.13	0.78±0.131	0.793±0.158	0.789±0.154	0.795±0.144	0.7946	0.0928		
15	0.78±0.164	0.82±0.137	0.823±0.122	0.786±0.165	0.823±0.112	0.797±0.162	0.807±0.126	0.814±0.137	0.809±0.122	0.789±0.14	0.797±0.147	0.794±0.135	0.797±0.143	0.8022	0.0939		
16	0.812±0.159	0.833±0.139	0.809±0.147	0.832±0.136	0.83±0.131	0.822±0.143	0.799±0.163	0.778±0.174	0.816±0.13	0.793±0.126	0.8±0.162	0.795±0.14	0.805±0.144	0.8085	0.1041		
17	0.814±0.162	0.811±0.146	0.82±0.139	0.829±0.147	0.831±0.131	0.802±0.162	0.828±0.139	0.795±0.159	0.774±0.169	0.828±0.123	0.805±0.158	0.82±0.143	0.799±0.153	0.8115	0.1057		
18	0.804±0.171	0.849±0.116	0.816±0.153	0.833±0.145	0.783±0.172	0.839±0.121	0.791±0.162	0.821±0.151	0.816±0.14	0.816±0.14	0.834±0.11	0.81±0.155	0.816±0.149	0.8167	0.3779		
19	0.856±0.112	0.823±0.147	0.827±0.122	0.854±0.108	0.855±0.115	0.832±0.117	0.835±0.114	0.837±0.134	0.819±0.138	0.814±0.123	0.847±0.114	0.832±0.115	0.834±0.117	0.8345	0.0675		
20	0.844±0.113	0.855±0.102	0.829±0.132	0.835±0.126	0.851±0.109	0.811±0.133	0.83±0.121	0.842±0.109	0.844±0.107	0.844±0.104		0.843±0.106	0.823±0.106	0.8362	0.0533		
21	0.83±0.124	0.843±0.107	0.844±0.108	0.85±0.1	0.841±0.113	0.824±0.109	0.84±0.103	0.809±0.143	0.826±0.113	0.837±0.102	0.823±0.119	0.825±0.114	0.808±0.111	0.8292	0.0516		
22	0.844±0.111	0.826±0.114	0.838±0.114	0.85±0.104	0.821±0.116	0.811±0.117	0.753±0.172	0.838±0.113	0.828±0.111	0.825±0.126	0.814±0.109	0.829±0.114	0.795±0.114	0.8192	0.0635		
23	0.822±0.121	0.808±0.122	0.83±0.111	0.804±0.118	0.796±0.119	0.823±0.101	0.846±0.101	0.82±0.113	0.798±0.134	0.828±0.105	0.783±0.115	0.805±0.119	0.769±0.118	0.8080	0.0566		

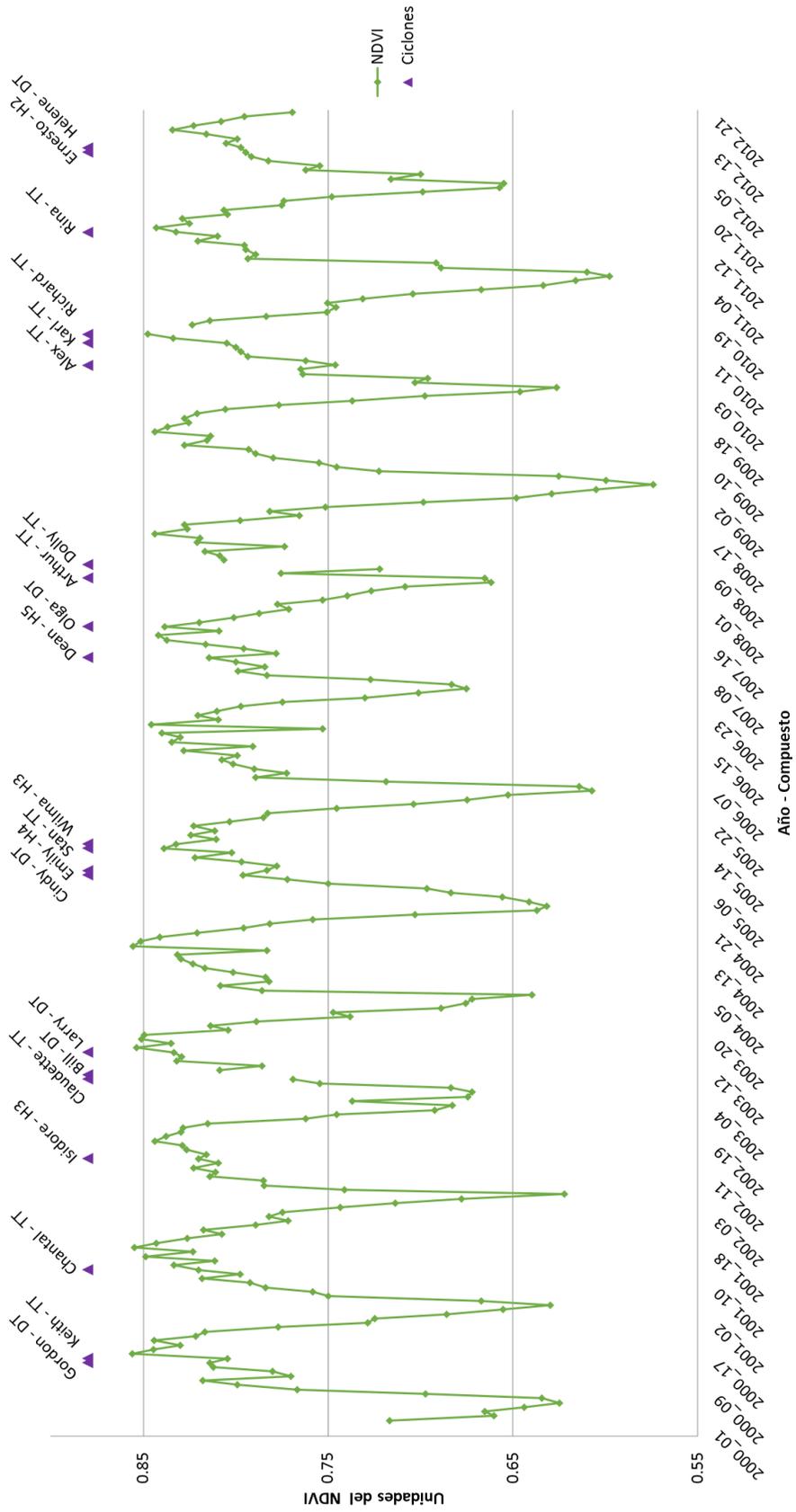


Figura 15: Distribución de los valores medios del NDVI, en el periodo 2000-2012.

Por otra parte, a partir de los resultados medios del NDVI y las Climatologías del NDVI se procesaron los valores estandarizados de anomalías para cada compuesto, mediante la función “*Raster Calculator*” de *ArcGis*, el cálculo de las anomalías se efectuó pixel a pixel y en el Cuadro 9 se presentan los valores medios obtenidos para cada compuesto.

Equivalente a la gráfica de los valores medios del NDVI, en la Figura 16, se presentan los valores de las anomalías estandarizadas del NDVI (aNDVI) para el periodo de estudio.

Cuadro 9: Valores medios de aNDVI por compuesto.

aNDVI	Años												
Compuesto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
01		0.278	0.255	0.496	0.275	-0.401	-0.028	0.269	0.031	-0.469	0.308	-1.095	0.082
02		-0.187	0.128	0.528	0.075	-0.519	-0.107	0.628	0.060	-0.031	0.324	-0.797	-0.104
03		-0.439	0.229	0.046	-0.313	-0.879	0.318	0.738	0.236	-0.131	0.180	-0.175	0.188
04	-0.221	-0.152	0.589	0.122	0.151	-1.492	0.134	0.831	0.535	-0.516	-0.004	-0.121	0.142
05	-0.417	-0.173	0.875	-0.094	-0.167	-0.878	0.005	0.921	0.592	-0.619	-0.046	-0.006	0.004
06	-0.129	-0.264	0.796	0.076	-0.024	-0.506	-0.083	0.728	0.762	-0.577	-0.387	-0.173	-0.221
07	-0.250	-0.411	0.596	0.864	0.078	-0.198	-0.184	0.508	0.702	-0.730	-0.438	-0.406	-0.133
08	-0.410	0.113	0.208	0.210	-0.204	0.257	-0.557	0.206	0.503	-0.879	0.441	-0.460	0.570
09	-0.295	0.733	-0.396	0.017	1.041	0.215	-0.503	0.141	-0.117	-0.628	0.224	-0.683	0.251
10	-0.167	0.385	0.216	-0.290	0.815	0.289	0.020	0.103	-0.409	-0.830	0.418	-0.973	0.425
11	0.044	0.200	0.239	-0.102	0.181	0.082	0.274	0.216	0.155	-0.462	0.025	-0.809	-0.044
12	0.306	0.261	0.165	-0.055	0.136	0.290	0.105	0.261	-0.358	-0.288	-0.196	-0.742	0.115
13	0.258	0.321	0.277		0.093	-0.063	0.021	-0.113		-0.567	-0.265	0.033	0.008
14	-0.240	0.097	0.102	0.193	0.177	-0.300	0.099	0.014	0.078	-0.243	0.053	-0.023	-0.009
15	-0.138	0.201	0.180	-0.053	0.170	0.012	0.017	0.136	-0.048	-0.237	-0.034	-0.158	-0.048
16	0.073	0.241	0.008	0.232	0.182	0.131	-0.055	-0.222	-0.011	-0.271	-0.037	-0.195	-0.076
17	0.073	-0.029	0.058	0.185	0.191	-0.063	0.135	-0.117	-0.333	0.060	-0.049	0.056	-0.166
18	-0.060	0.263	-0.033	0.197	-0.270	0.184	-0.236	-0.075	0.065	-0.047	0.057	-0.039	-0.004
19	0.350	0.025	-0.105	0.328	0.408	0.003	0.027	0.131	-0.138	-0.328	0.211	-0.123	-0.109
20	0.133	0.304	-0.019	0.067	0.294	-0.376	-0.081	0.069	0.044	0.064		0.034	-0.531
21	0.050	0.215	0.225	0.391	0.273	-0.157	0.150	-0.100	-0.153	0.080	-0.132	-0.191	-0.650
22	0.379	0.059	0.268	0.473	-0.041	-0.182	-0.725	0.289	0.073	0.164	-0.210	0.034	-0.582
23	0.275	0.029	0.386	-0.022	-0.293	0.154	0.681	0.182	-0.087	0.287	-0.576	-0.148	-0.866

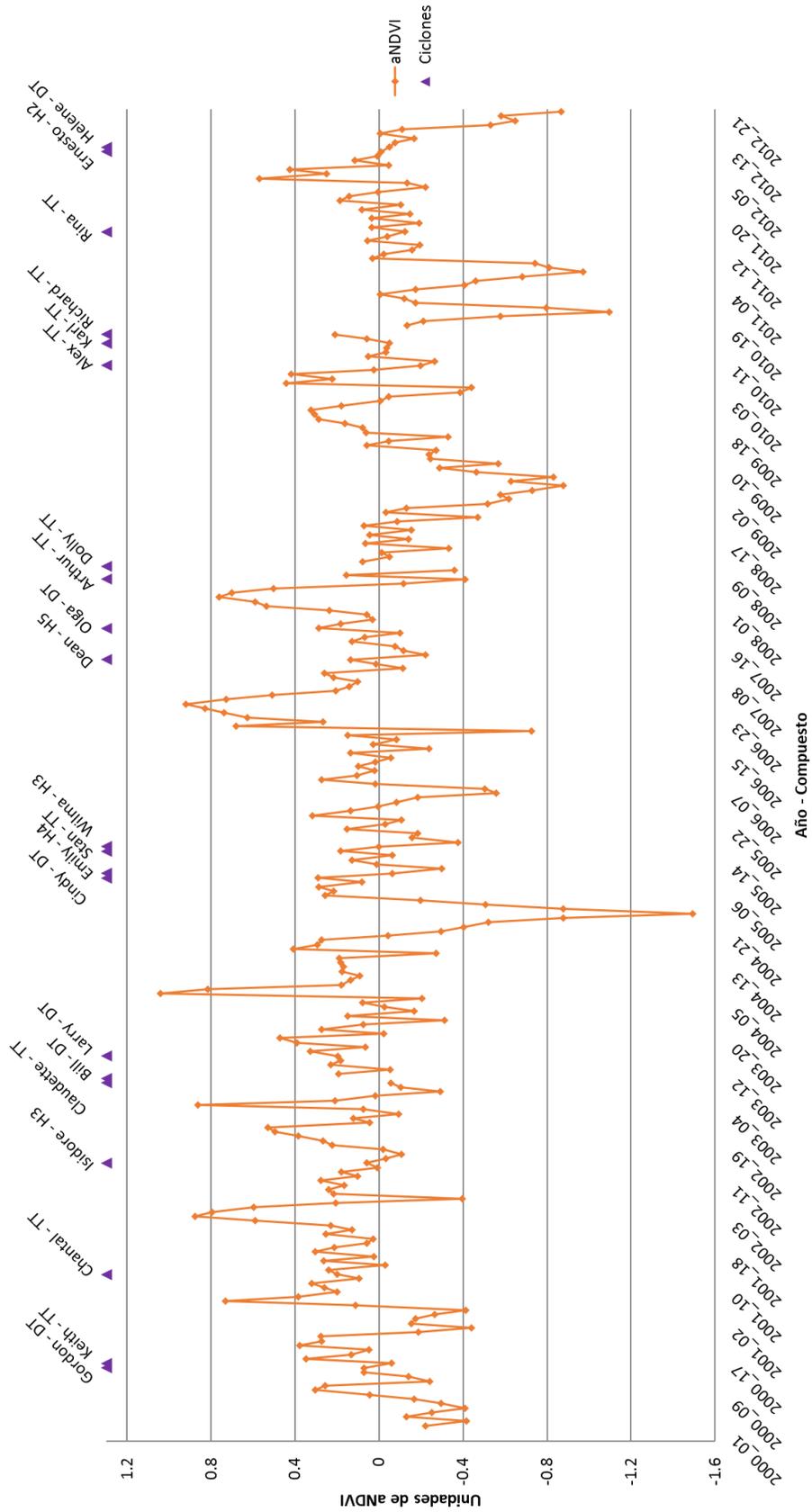


Figura 16: Distribución de los valores medios de las aNDVI, en el periodo 2000-2012.

En la figura anterior, se aprecia como durante el periodo estudiado se presentan diversas ocasiones en que los valores de las aNDVI descienden drásticamente en temporalidades no coincidentes con la presencia de fenómenos ciclónicos en la región, tal es el caso de los compuestos números: 2 del 2005, 6 del 2009 y 8 del 2011, entre otros. Lo que demuestra que un análisis regional no es suficiente para poder asociar los efectos de los ciclones sobre tierra con la pérdida de vegetación.

Lo anterior también se observa al comparar las diferencias absolutas entre los valores de las aNDVI de un compuesto dado, con el compuesto inmediato anterior. En la Figura 17 se pueden distinguir picos extremos que no coinciden con los periodos en los cuales se presentaron ciclones en la zona de estudio. Tales variaciones se pueden deber a la presencia de diversos fenómenos extremos con son periodos de sequias, incendios forestales, El Niño-Oscilación del Sur (ENSO por sus siglas en inglés), etc. La identificación y estudio de tales fenómenos quedan fuera de los alcances del presente estudio.

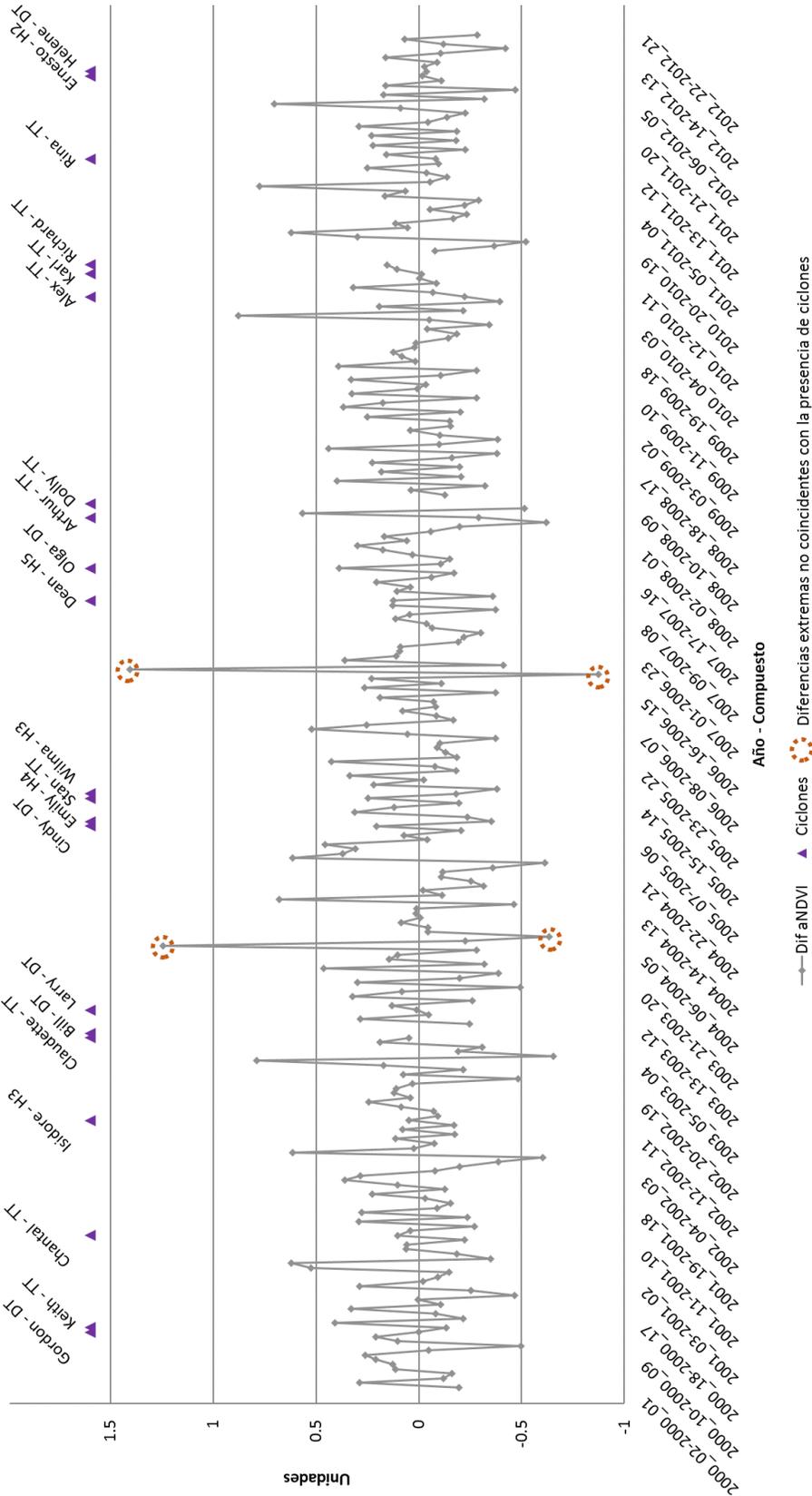


Figura 17: Diferencia de los valores medios de aNDVI en el periodo 2000-2012.

Para estudiar los impactos directos sobre la vegetación de cada uno de los fenómenos hidrometeorológicos durante su paso por la PY, se analizaron los compuestos desde un periodo anterior al paso en tierra, hasta cuatro periodos (compuestos) posteriores al paso de este.

Escala peninsular

Estudio de caso: Huracán Wilma

Se seleccionó como caso de estudio a nivel peninsular al huracán *Wilma*, dado que este fue el ciclón que durante el periodo analizado (2000-2012) generó los mayores impactos no solo en las comunidades vegetales, sino que también provocó grandes afectaciones a los sistemas urbanos y medios de producción, generando pérdida económica significativas (Zenteno Casas, et al., 2006; Tun, et al., 2005). Los resultados del análisis efectuado son los siguientes: del análisis de los compuestos 18 a 23 del 2005, se obtuvieron los valores del NDVI y de las aNDVI a nivel de la PY (Cuadro 10). En la Figura 18 se muestra gráficamente el comportamiento de los datos.

Cuadro 10: Valores medios de NDVI y aNDVI por compuesto durante el paso del huracán Wilma por la PY.

Fechas	Impacto en Tierra					
	30 Sep 2005 - 15 Oct 2005	16-31 Oct 2005	1-16 Nov 2005	17 Nov 2005 - 2 Dec 2005	3-18 Dec 2005	19-31 Dec 2005
Año/Compuesto	18_2005	19_2005	20_2005	21_2005	22_2005	23_2005
NDVI	0.8397	0.8312	0.8095	0.8228	0.8111	0.8216
aNDVI	0.1838	0.0029	-0.3765	-0.1573	-0.1821	0.1545

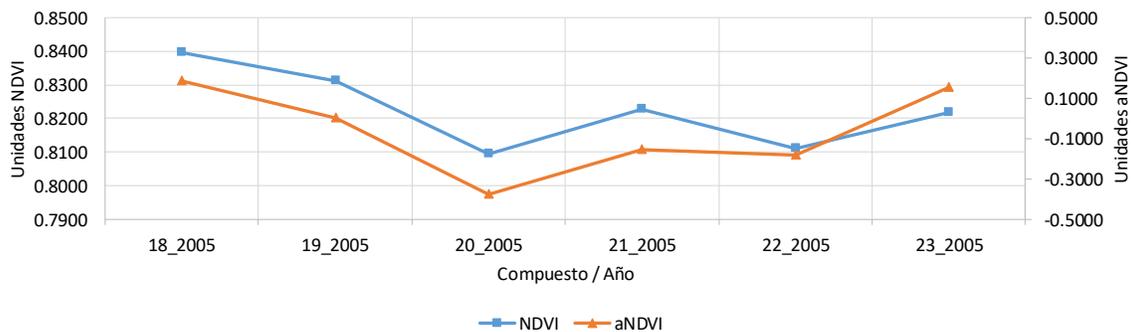


Figura 18: Gráfica del comportamiento espacial de los valores medios de NDVI y aNDVI por compuesto durante el paso del huracán Wilma por la PY.

Se generaron dos series de tiempo para poder observar gráficamente el comportamiento de los valores medios del NDVI (Figura 19) y las aNDVI (Figura 20), así como la trayectoria seguida por el ciclón durante su paso por tierra.

Como se puede observar, las dimensiones de la PY son mucho mayores a la zona afectada por los vientos y lluvias generados por el ciclón, esto se aprecia claramente en el mosaico del compuesto 20-2005 de la Figura 20, en la que los valores correspondientes al déficit extremo (color rojo), se concentran solo en un área colindante a la trayectoria del huracán.

Si bien, este huracán fue uno de los más intensos y con la mayor área de afectación registrada, al realizar un análisis de sus efectos sobre las comunidades vegetales, resulto evidente que dado el tamaño de la superficie de la PY comparada con las extensiones afectadas al paso del sistema por tierra (trayectoria) los cálculos estadísticos para determinar las aNDVI se ven disminuidos, es decir, los valores de las medias aritméticas se diluyen ante la gran cantidad de valores que corresponden a las zonas que no sufrieron los efectos directos provocados por los vientos y lluvias del meteoro.

Lo anterior dio pie al estudio de los efectos de cada ciclón en función de la definición y delimitación de zonas de impacto asociadas a sus trayectorias (análisis a escala regional).

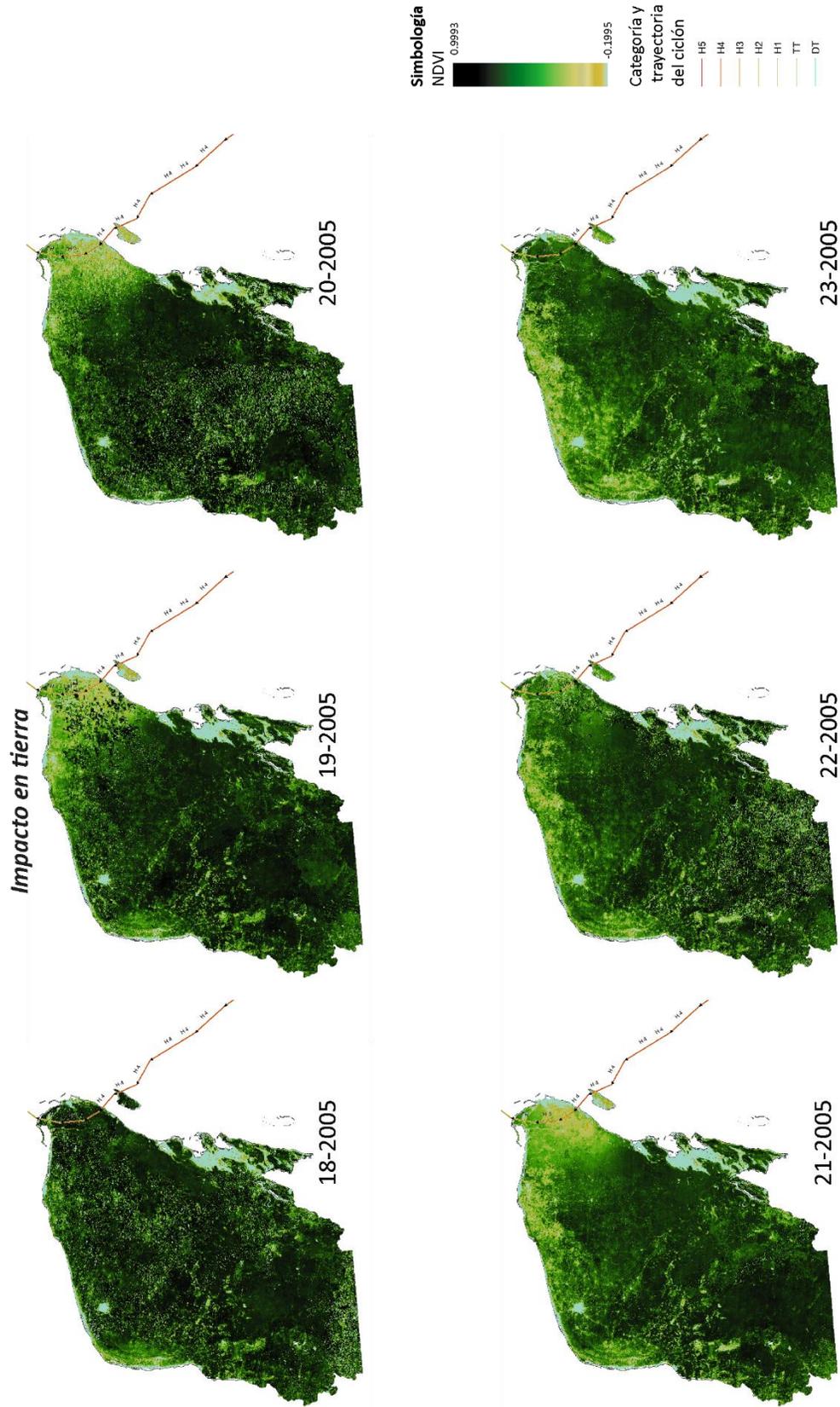


Figura 19: Distribución espacial de los valores medios de NDVI por compuesto durante el paso del huracán Wilma por la PY.

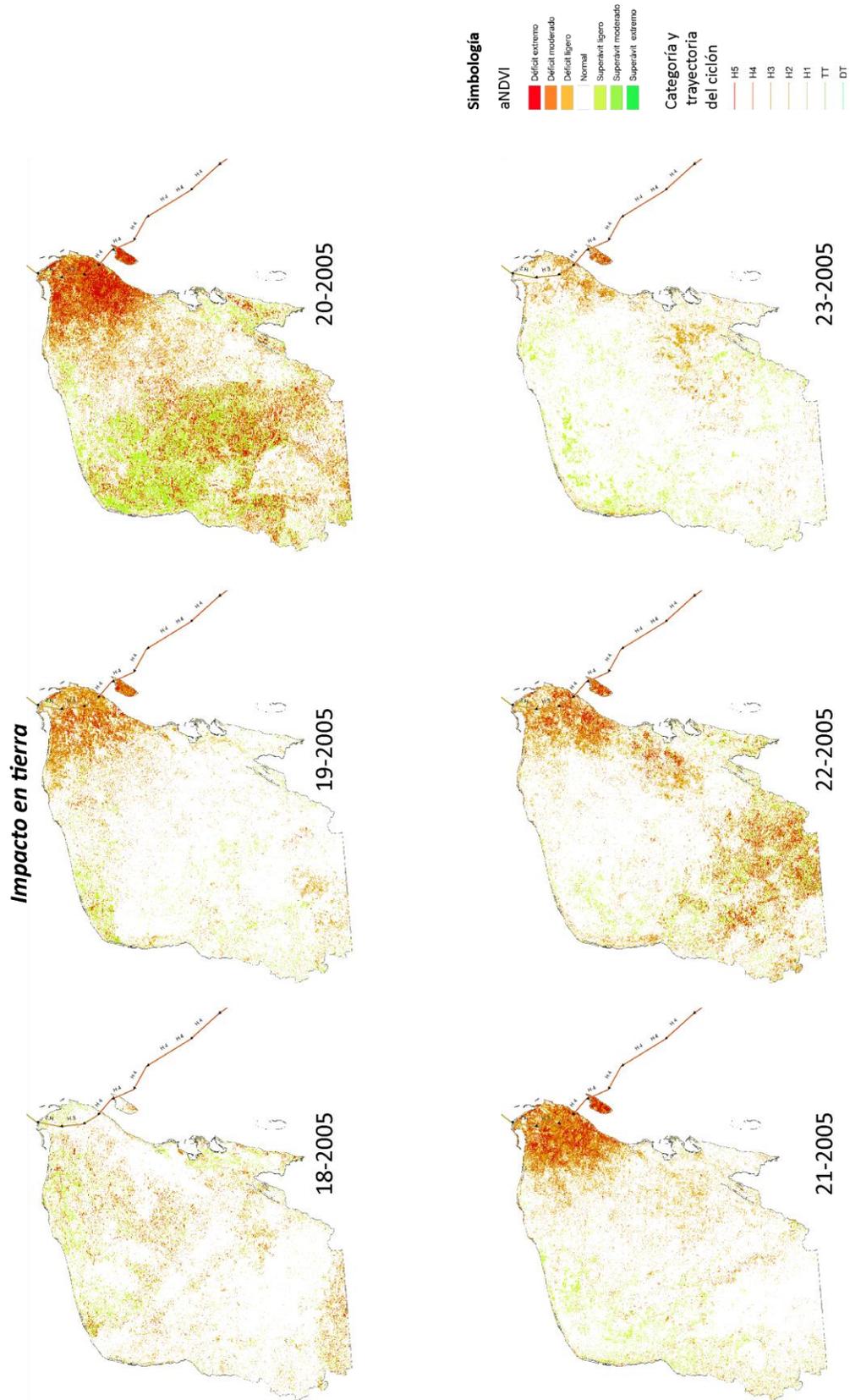


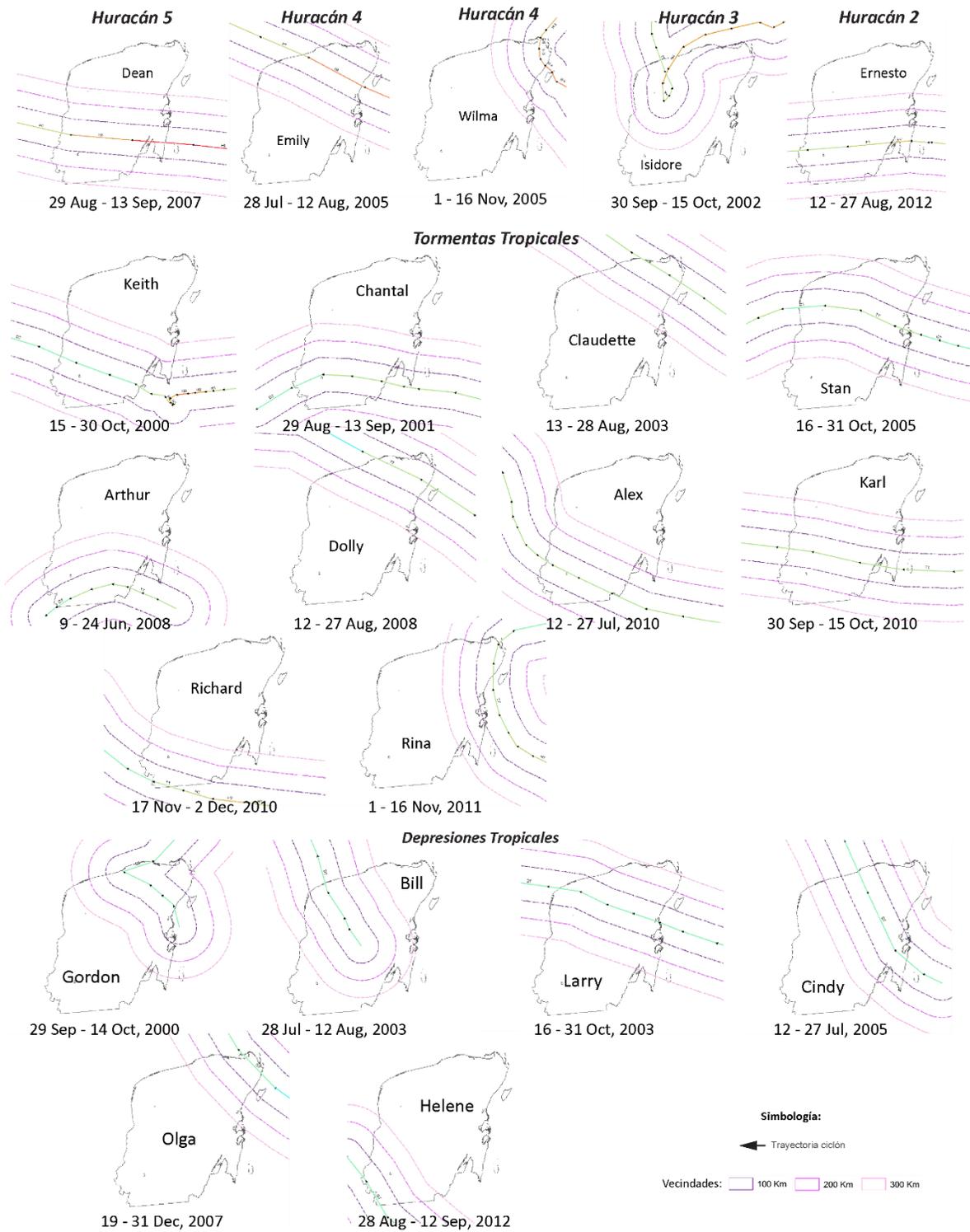
Figura 20: Distribución espacial de los valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán Wilma por la PY.

Escala regional por ciclón

Del análisis realizado a los datos a escala peninsular, se pudo observar que la identificación de los efectos directos de los ciclones es difícil de diferenciar de los cambios estacionales (cambios fenológicos) que presenta la vegetación de la región, por lo que para diferenciar estos cambios de los ocasionados por dichos fenómenos hidrometeorológicos, se delimitaron las vecindades o zonas de impacto.

Vecindades

Para poder estudiar los efectos directos de los impactos provocados por cada ciclón y estimar la extensión de los mismos, se definieron las vecindades (V) o zonas de impacto. La distribución espacial de cada vecindad con respecto a la trayectoria de cada ciclón estudiado en este proyecto se presenta en la Figura 21.



Nota: La clasificación del fenómeno corresponde a la categoría que presentó cada uno de ellos al momento de su impacto en tierra.

Figura 21: Distribución espacial de las vecindades definidas por ciclón.

Las superficies representadas por cada vecindad con respecto a la superficie total de la zona de estudio (126,547.38 km²) se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11: Superficie definida por vecindad por ciclón.

Año	Ciclón	Categoría en Tierra	Superficie por zonas de impacto					
			V 100		V 200		V 300	
			Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
2000	<i>Gordon</i>	DT	22,029.95	17.41	42,389.79	33.50	60,857.12	48.09
2000	<i>Keith</i>	TT	24,982.12	19.74	49,708.71	39.28	68,371.81	54.03
2001	<i>Chantal</i>	TT	27,447.32	21.69	50,545.86	39.94	66,699.65	52.71
2002	<i>Isidore</i>	H3	23,229.24	18.36	53,088.96	41.95	80,325.09	63.47
2003	<i>Bill</i>	DT	24,845.80	19.63	55,297.67	43.70	87,317.13	69.00
2003	<i>Claudette</i>	TT	11,891.49	9.40	21,691.63	17.14	34,412.35	27.19
2003	<i>Larry</i>	DT	29,094.47	22.99	56,432.55	44.59	80,370.47	63.51
2005	<i>Cindy</i>	DT	28,952.05	22.88	54,486.65	43.06	77,384.81	61.15
2005	<i>Emily</i>	H4	22,057.11	17.43	44,339.81	35.04	62,850.19	49.67
2005	<i>Stan</i>	TT	32,143.58	25.40	63,188.67	49.93	89,024.70	70.35
2005	<i>Wilma</i>	H4	7,603.18	6.01	15,685.70	12.40	27,809.57	21.98
2007	<i>Dean</i>	H5	31,277.45	24.72	59,807.45	47.26	83,334.93	65.85
2007	<i>Olga</i>	DT	6,354.44	5.02	14,310.69	11.31	24,540.04	19.39
2008	<i>Arthur</i>	TT	19,579.41	15.47	36,502.80	28.85	54,283.15	42.90
2008	<i>Dolly</i>	TT	15,978.60	12.63	28,432.07	22.47	43,371.64	34.27
2010	<i>Alex</i>	TT	22,603.68	17.86	40,803.84	32.24	58,335.27	46.10
2010	<i>Karl</i>	TT	29,679.36	23.45	57,972.14	45.81	81,287.77	64.24
2010	<i>Richard</i>	TT	8,083.64	6.39	20,007.21	15.81	33,517.90	26.49
2011	<i>Rina</i>	TT	9,834.79	7.77	23,979.49	18.95	41,164.34	32.53
2012	<i>Ernesto</i>	H2	32,731.42	25.86	60,279.73	47.63	77,484.42	61.23
2012	<i>Helene</i>	DT	6,948.70	5.49	16,703.19	13.20	29,843.38	23.58

Nota: Porcentajes con relación a la superficie total de la PFPY

En la Figura 22 se muestra gráficamente la relación entre la intensidad de cada ciclón al momento del paso por tierra, con respecto a la superficie de la zona de estudio definida como V-300.

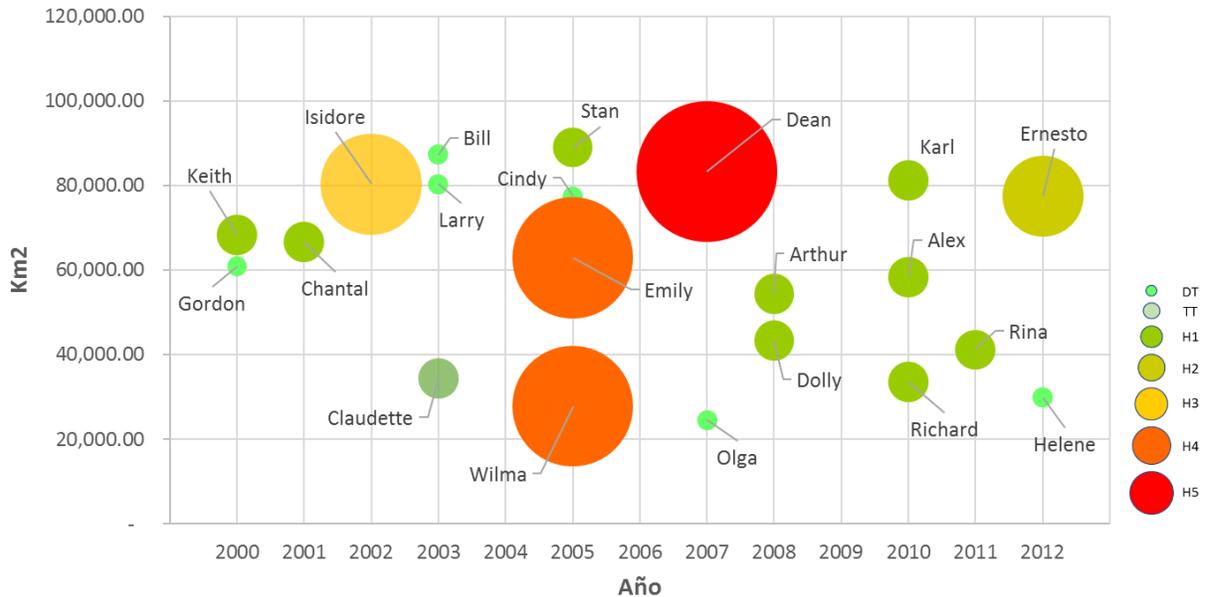


Figura 22: Superficie de la zona de impacto "V-300" y Máxima Categoría por ciclón, por año.

Del estudio de esta gráfica se puede apreciar que no existe una relación directa entre la intensidad de los fenómenos y la extensión de tierra susceptible a ser impactada de forma directa por los vientos y lluvias generados por el mismo. Es decir, el área impactada está en función de la combinación de diversos factores, entre los que destacan la trayectoria seguida por el ciclón, su intensidad y la permanencia (exposición).

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los tres ciclones que alcanzaron la máxima categoría durante su paso por tierra (*Emily* y *Wilma* en 2005 y *Dean* en 2007). Los resultados y discusión individual para el resto de los 18 ciclones estudiados se integran en el anexo.

Huracán Emily

Datos generales del ciclón

General

Categoría máx.	H5
Fecha/hora [UTC] Inicio	11/07/2005 00:00
Fecha /hora [UTC] Fin	21/07/2005 06:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	259
Distancia recorrida [km]	6,594.79

Impacto en Tierra

Categoría en Tierra	H4
Fecha /hora [UTC]	17/07/2005 00:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	278
Distancia recorrida [km]	209.40

Trayectoria y vecindades

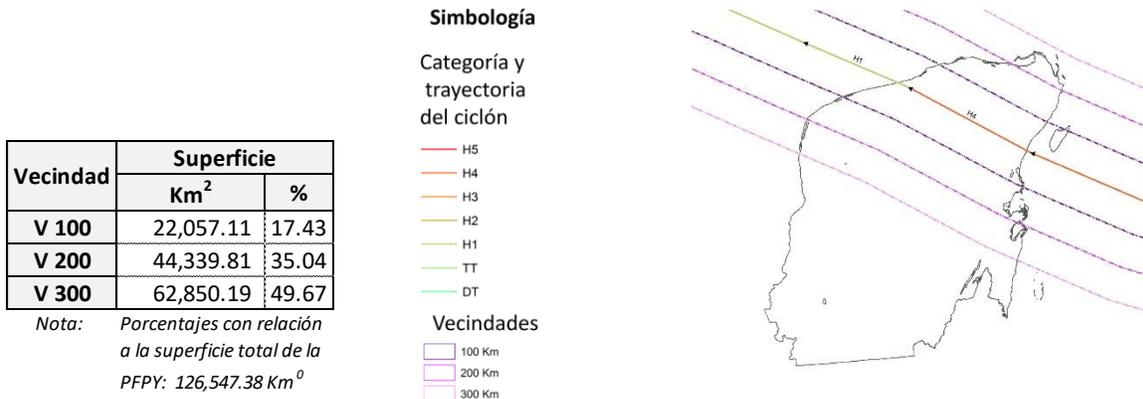


Figura 23: Trayectoria del huracán Emily y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).

En el Cuadro 12 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 12: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán Emily.

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	15,051.54	68.24	32,481.33	73.26	46,491.45	73.97
Pastizal	4,906.12	22.24	6,605.24	14.90	7,033.94	11.19
Agrícola	1,112.04	5.04	2,013.00	4.54	3,147.54	5.01
Vegetación hidrófila	607.34	2.75	2,037.71	4.60	4,488.78	7.14

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

El huracán *Emily*, fue el segundo ciclón en impactar la PY en el 2005, su paso fue apenas once (11) días después del paso del huracán *Cindy*. su trayectoria atraviesa la PY por el extremo noreste, con categoría 4 durante su paso por tierra y vientos máximos sostenidos registrados en tierra del orden de los 278 km/h.

Los mayores efectos del ciclón sobre la vegetación de la región se concentran dentro de los límites de la V-100 y se presentan es un lapso no mayor a dos semanas (C-14). La recuperación de la vegetación se dio de manera diferente para cada tipo, siendo la selva la que sufrió los mayores efectos negativos y la que mostro un periodo de aproximadamente ocho (8) semanas (C-17) para reducir los valores de las aNDVI. En el caso de la vegetación agrícola y pastizales, estos presentaron una rápida recuperación en un periodo de dos (2) a tres (3) semanas (C-14). Por su parte, la vegetación hidrófila, fue la menos impacta por el fenómeno (Figura 24).

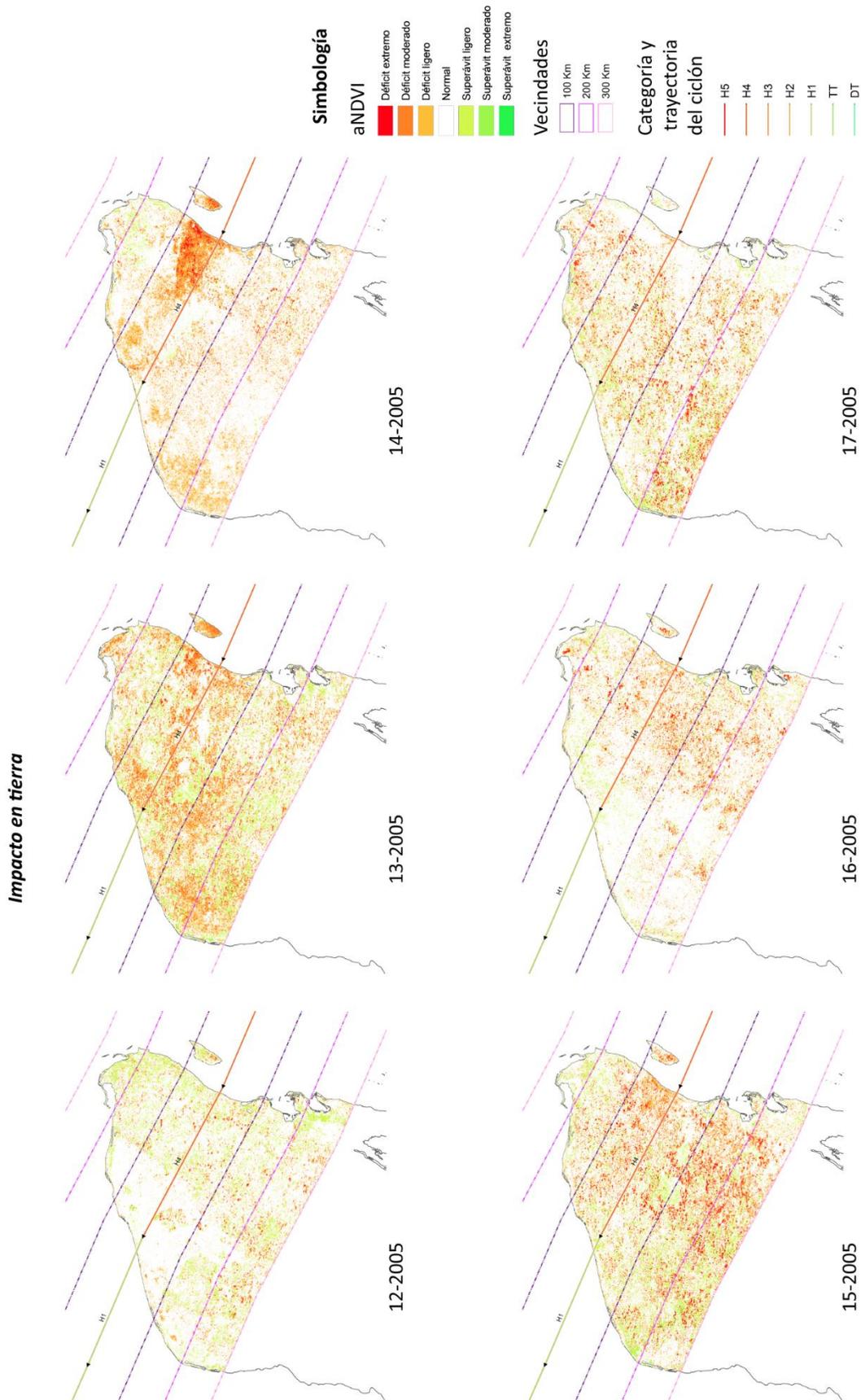


Figura 24: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán Emily por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 13. Por su parte, en la Figura 25 se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta cuatro (4) compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 13 (C-13).

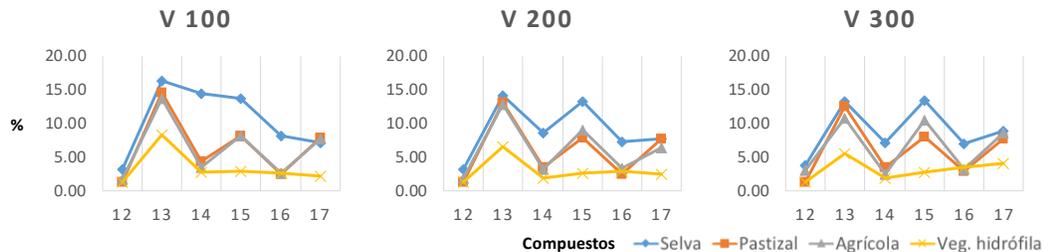
Cuadro 13: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán Emily por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos					
	12	13	14	15	16	17
Selva	3.28	16.39	14.50	13.70	8.17	7.23
Pastizal	1.35	14.58	4.47	8.21	2.46	7.92
Agrícola	1.78	13.78	3.53	8.20	2.66	7.78
Veg. hidrófila	1.36	8.33	2.80	2.97	2.72	2.26

Tipos de vegetación	Compuestos					
	12	13	14	15	16	17
Selva	3.28	14.15	8.61	13.27	7.31	7.81
Pastizal	1.34	13.09	3.52	7.89	2.53	7.72
Agrícola	1.86	12.78	3.25	9.06	3.31	6.50
Veg. hidrófila	1.29	6.56	1.94	2.63	2.88	2.55

Tipos de vegetación	Compuestos					
	12	13	14	15	16	17
Selva	3.87	13.30	7.15	13.48	6.98	8.86
Pastizal	1.40	12.60	3.47	8.11	2.97	7.68
Agrícola	3.15	10.75	2.55	10.55	3.17	8.60
Veg. hidrófila	1.35	5.54	1.85	2.81	3.50	4.05

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 13



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 25: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán Emily por la PY.

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los máximos valores registrados para todos los tipos de vegetación estudiados fueron del orden de 3,386.83 Km² en la V-100; 5,853.27 Km² en la V-200; y 7,654.86 Km² en la V-300, equivalentes a los existentes antes del impacto del ciclón en tierra.

Huracán Wilma*Datos generales del ciclón***General**

Categoría máx.	H5
Fecha/hora [UTC] Inicio	15/10/2005 18:00
Fecha /hora [UTC] Fin	26/10/2005 12:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	296
Distancia recorrida [km]	5,668.83

Impacto en Tierra

Categoría en Tierra	H4
Fecha /hora [UTC]	19/10/2005 12:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	222
Distancia recorrida [km]	99.99

Trayectoria y vecindades

Vecindad	Superficie	
	Km ²	%
V 100	7,603.18	6.01
V 200	15,685.70	12.40
V 300	27,809.57	21.98

Nota: Porcentajes con relación a la superficie total de la PFPY: 126,547.38 Km²

Simbología

Categoría y trayectoria del ciclón

- H5
- H4
- H3
- H2
- H1
- TT
- DT

Vecindades

- 100 Km
- 200 Km
- 300 Km

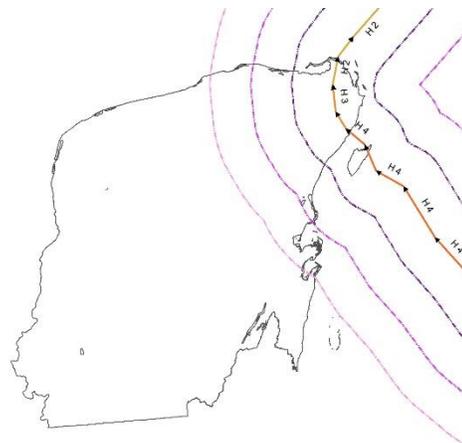


Figura 26: Trayectoria del huracán Wilma y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).

En el Cuadro 14 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 14: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán Wilma.

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	6,329.32	83.25	12,062.12	76.90	20,136.60	72.41
Pastizal	171.74	2.26	1,871.54	11.93	4,490.78	16.15
Agrícola	36.67	0.48	221.47	1.41	372.04	1.34
Vegetación hidrófila	650.18	8.55	947.81	6.04	2,092.74	7.53

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

El huracán *Wilma* fue el cuarto y último ciclón de la temporada 2005 en impactar la PY.

Con una categoría de huracán 5 y vientos máximos sostenidos registrados en tierra del orden de los 222 km/h.

El mayor impacto sobre la vegetación se observa en el C-20, dentro del área de la V-200, extendiéndose los efectos entre los 75 y 90 km al suroeste de la trayectoria del ciclón (Figura 27).

Los efectos de este ciclón corresponden a los máximos reportados para el periodo de estudio (2000-2012) siendo estos de tipo negativo extremos, dado que las diferencias entre los valores máximos registrados son del orden de un 70% de incremento con respecto a los que se tenían antes del paso del ciclón por tierra (C-18 y C-20).

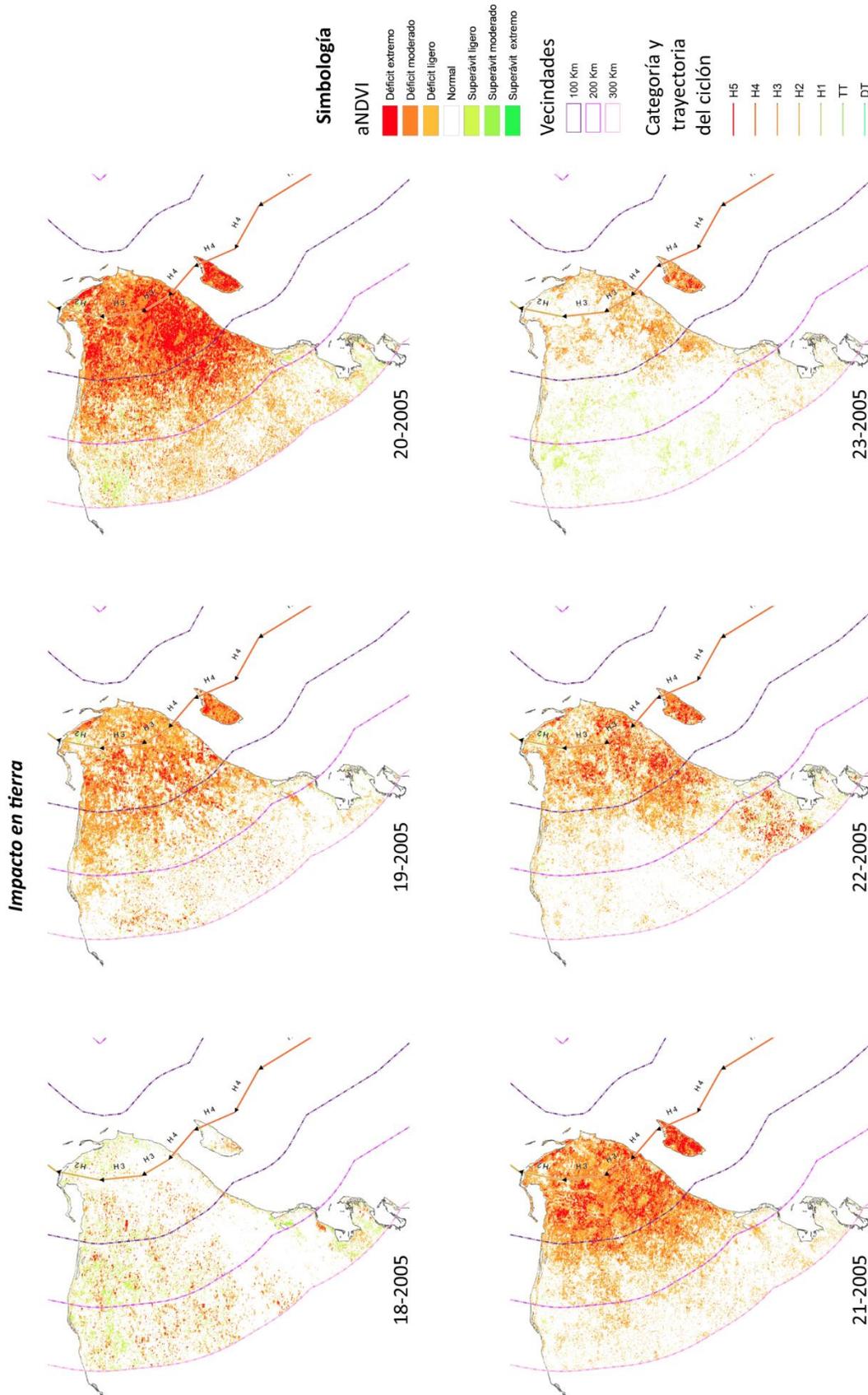


Figura 27: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán Wilma por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 15. Por su parte, en la Figura 28 se presenta gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta cuatro (4) compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 19 (C-19).

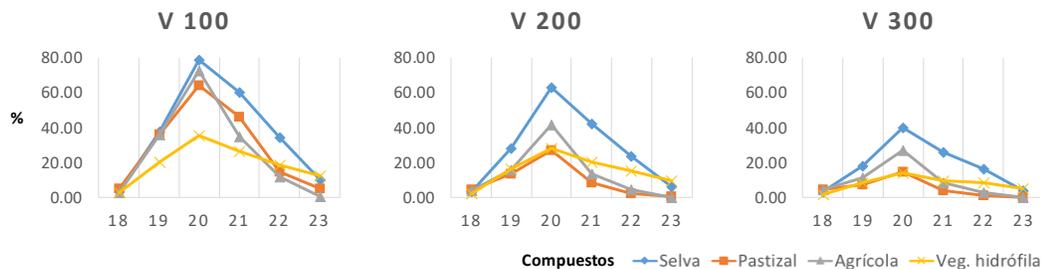
Cuadro 15: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán Wilma por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos					
	18	19	20	21	22	23
Selva	3.62	37.81	78.52	60.17	34.26	10.55
Pastizal	5.36	36.37	64.22	46.37	14.99	5.24
Agrícola	2.80	36.01	72.57	34.89	11.94	0.56
Veg. hidrófila	2.76	20.36	35.77	26.57	18.95	12.51

Tipos de vegetación	Compuestos					
	18	19	20	21	22	23
Selva	3.69	28.05	62.81	42.50	23.91	6.53
Pastizal	4.96	13.66	27.32	8.88	2.73	0.79
Agrícola	4.35	15.65	41.80	13.65	4.51	0.22
Veg. hidrófila	2.27	16.42	28.47	20.16	15.29	9.98

Tipos de vegetación	Compuestos					
	18	19	20	21	22	23
Selva	3.79	17.92	40.30	25.98	16.57	4.03
Pastizal	4.43	7.44	14.76	4.13	1.31	0.34
Agrícola	4.69	11.43	27.24	8.62	3.25	0.20
Veg. hidrófila	2.11	8.85	14.15	10.02	8.57	5.01

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 19



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 28: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán Wilma por la PY.

Es en la V-100 (50 km hacia los costados de la trayectoria) donde se concentra la mayor extensión impactada (porcentaje con respecto a la superficie total de la vecindad) por el efecto de las lluvias y vientos del meteoro. Los tipos de vegetación más impactados corresponden a la selva, pastizal y agrícola, siendo la vegetación hidrófila la que muestra el menor porcentaje de aNDVI extremos.

En las gráficas de la Figura 28 se puede apreciar que los impactos en la vegetación disminuyen a mayor distancia de la trayectoria del ciclón, particularmente para el caso de los pastizales y la agrícola.

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los valores máximos registrados para la vegetación se selva, fueron del orden de 4,969.79 Km² en la V-100; 7,576.65 Km² en la V-200; y 8,115.33 Km² en la V-300.

La recuperación de estado de vigor de la vegetación a valores equivalentes al que se presentaba antes del impacto en tierra se da en un lapso de entre siete (7) y nueve (9) semanas (C-23).

En el caso de este fenómeno, hay que tomar en consideración que su trayectoria cruzo la PY en el extremo norte, lo que implica que la influencia de sus vientos y lluvias se concentraron en solo una fracción de la superficie de la península.

Así mismo (y no por eso menos importante), dicha región es la que presenta los mayores cambios de uso de suelo derivados de la urbanización de la Ciudad de Cancún, lo que implica por sí mismo una disminución de la cobertura vegetal de la región.

Huracán Dean

Datos generales del ciclón

General	
Categoría máx.	H5
Fecha/hora [UTC] Inicio	13/08/2007 06:00
Fecha /hora [UTC] Fin	22/08/2007 18:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	278
Distancia recorrida [km]	7,659.14

Impacto en Tierra	
Categoría en Tierra	H5
Fecha /hora [UTC]	21/08/2007 06:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	278
Distancia recorrida [km]	315.40

Trayectoria y vecindades

Vecindad	Superficie	
	Km ²	%
V 100	31,277.45	24.72
V 200	59,807.45	47.26
V 300	83,334.93	65.85

Nota: Porcentajes con relación a la superficie total de la PFPY: 126,547.38 Km³

Simbología

Categoría y trayectoria del ciclón

- H5
- H4
- H3
- H2
- H1
- TT
- DT

Vecindades

- 100 Km
- 200 Km
- 300 Km

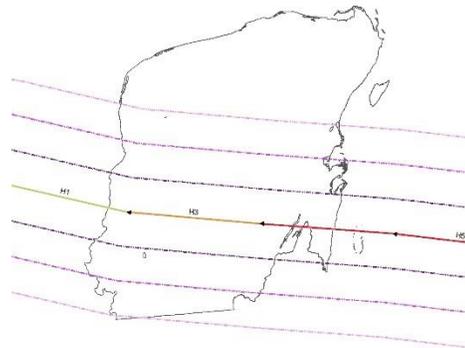


Figura 29: Trayectoria del huracán Dean y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).

En el Cuadro 16 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 16: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán Dean.

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	25,823.68	82.56	48,637.74	81.32	68,237.08	81.88
Pastizal	2,413.40	7.72	4,285.89	7.17	5,414.24	6.50
Agrícola	1,266.84	4.05	3,123.98	5.22	4,365.93	5.24
Vegetación hidrófila	1,489.74	4.76	3,131.45	5.24	4,365.94	5.24

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

El huracán *Dean*, fue el primero de dos ciclones que impactaron la PY en el año 2007, su trayectoria atraviesa la PY por la parte sur, en dirección este-oeste, con una categoría en tierra de huracán 5 y vientos máximos sostenidos registrados en tierra del orden de los 278 km/h.

Los máximos efectos del ciclón sobre la vegetación se presentaron en un periodo máximo de dos semanas posterior a que este tocara tierra (C-16, Figura 30).

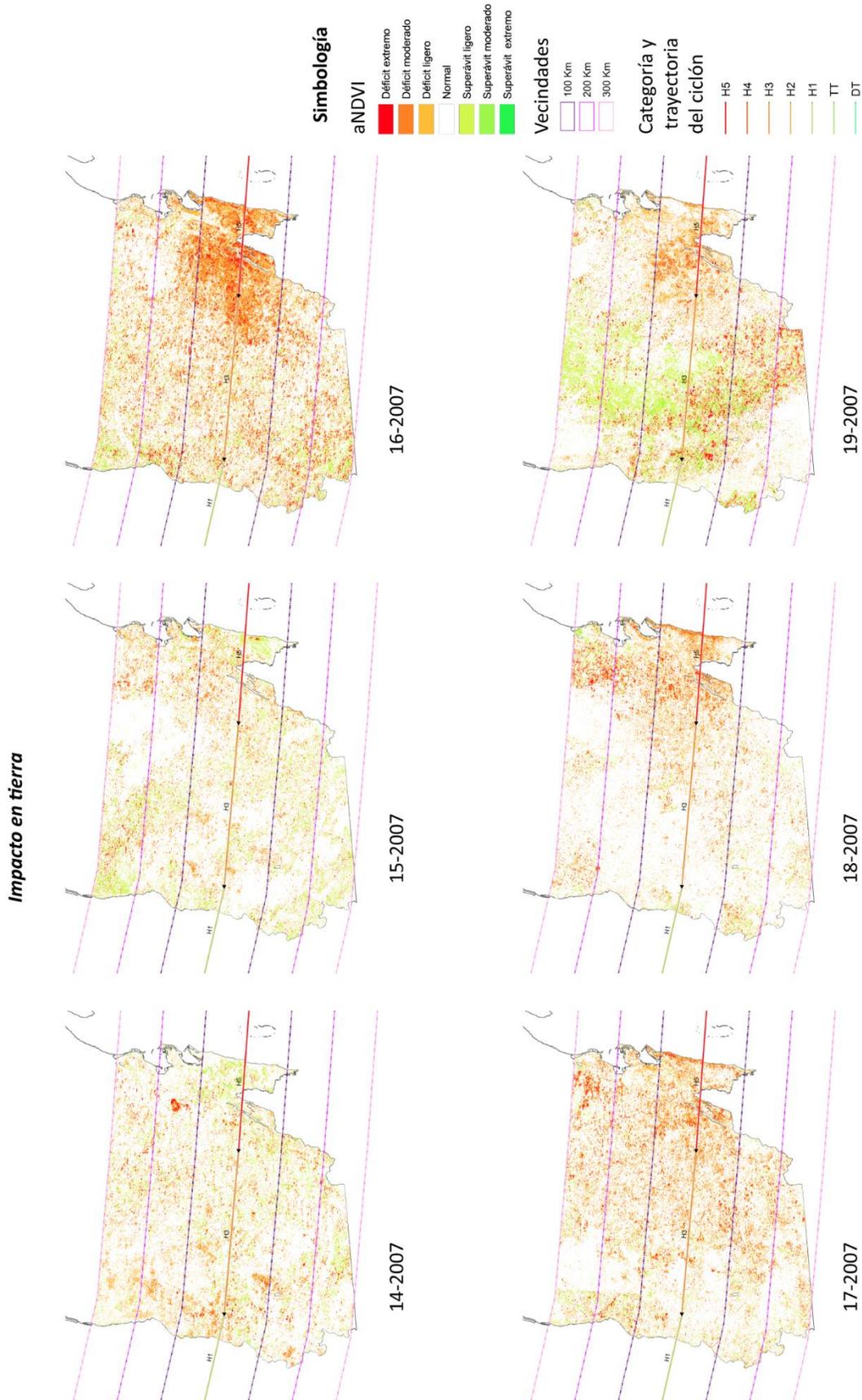


Figura 30: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán Dean por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 17. Por su parte, en la Figura 31 se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta cuatro (4) compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 15 (C-15).

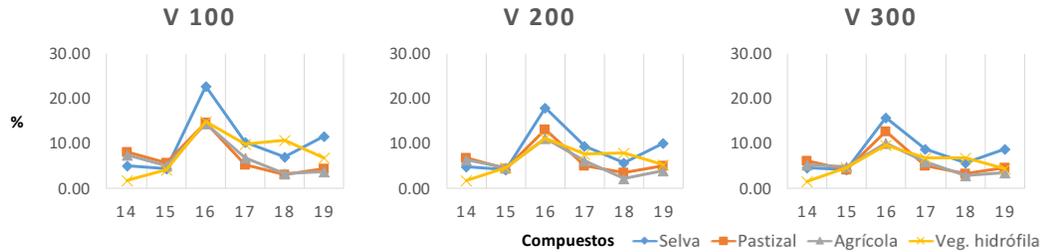
Cuadro 17: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán Dean por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos					
	14	15	16	17	18	19
Selva	4.94	4.39	22.73	10.29	7.00	11.66
Pastizal	8.06	5.66	14.75	5.17	3.12	4.42
Agrícola	7.40	4.97	14.42	6.69	3.27	3.73
Veg. hidrófila	1.62	4.24	14.86	9.90	10.70	6.71

Compuestos						
14	15	16	17	18	19	
4.77	4.09	18.01	9.43	5.74	9.99	
6.80	4.43	13.18	5.11	3.38	5.04	
6.25	4.63	11.19	6.04	2.24	4.02	
1.79	4.60	11.19	7.66	7.82	5.26	

Compuestos						
14	15	16	17	18	19	
4.63	4.20	15.74	8.84	5.64	8.65	
6.21	4.08	12.63	5.07	3.19	4.61	
5.34	4.88	10.14	5.82	2.74	3.44	
1.58	4.61	9.65	6.69	6.67	4.36	

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 15



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 31: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán Dean por la PY.

El mayor incremento de los valores extremos de las aNDVI, se presentan para la vegetación de tipo selva, alcanzando valores del orden de 16% superiores a los registrados antes del paso del ciclón por tierra, por lo que se puede catalogar el impacto como negativo significativo. En cuanto a la recuperación de la vegetación, fue la de tipo hidrófila la que requirió un mayor tiempo para alcanzar valores equivalentes a los que se tenían antes del fenómeno (C-19), por su parte, la vegetación de tipo selva, agrícola e hidrófila volvieron a valores de aNDVI equivalentes en un lapso no mayor a seis (6) semanas (C-17).

En un estudio para identificar los efectos del impacto del huracán Dean en la vegetación del sureste de Quintana Roo Islebe (2009) reportó que el impacto del ciclón en la zona de Mahahual provocó alrededor de un 90 al 100% de defoliación del mangle y selva media. En el caso de la selva media se tuvo una recuperación (foliación) cercana al 80% en un plazo de un mes, no siendo el mismo caso para el mangle, el cual después de un mes no mostro recuperación. En estudios previos (Sánchez-Sánchez e Islebe, 1999) se reporta que el mangle muestra signos de recuperación en un plazo entre 5 a 7 meses. Estos resultados son congruentes con lo encontrado en el análisis de las aNDVI.

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los máximos valores registrados para todos los tipos de vegetación estudiados fueron del orden de 995.91 Km² en la V-100; 1,813.49 Km² en la V-200; y 2,510.02 Km² en la V-300, equivalentes a los existentes antes del impacto del ciclón en tierra.

DISCUSIÓN

Durante el periodo comprendido entre el año 2000 y el 2012, se presentaron veintiún (21) ciclones cuyas trayectorias intersectaron la PFPY, de los cuales el 76% (n= 16) fueron catalogados como depresiones y tormentas tropicales y solo el 24% restante (n=5) alcanzaron la categoría de huracán.

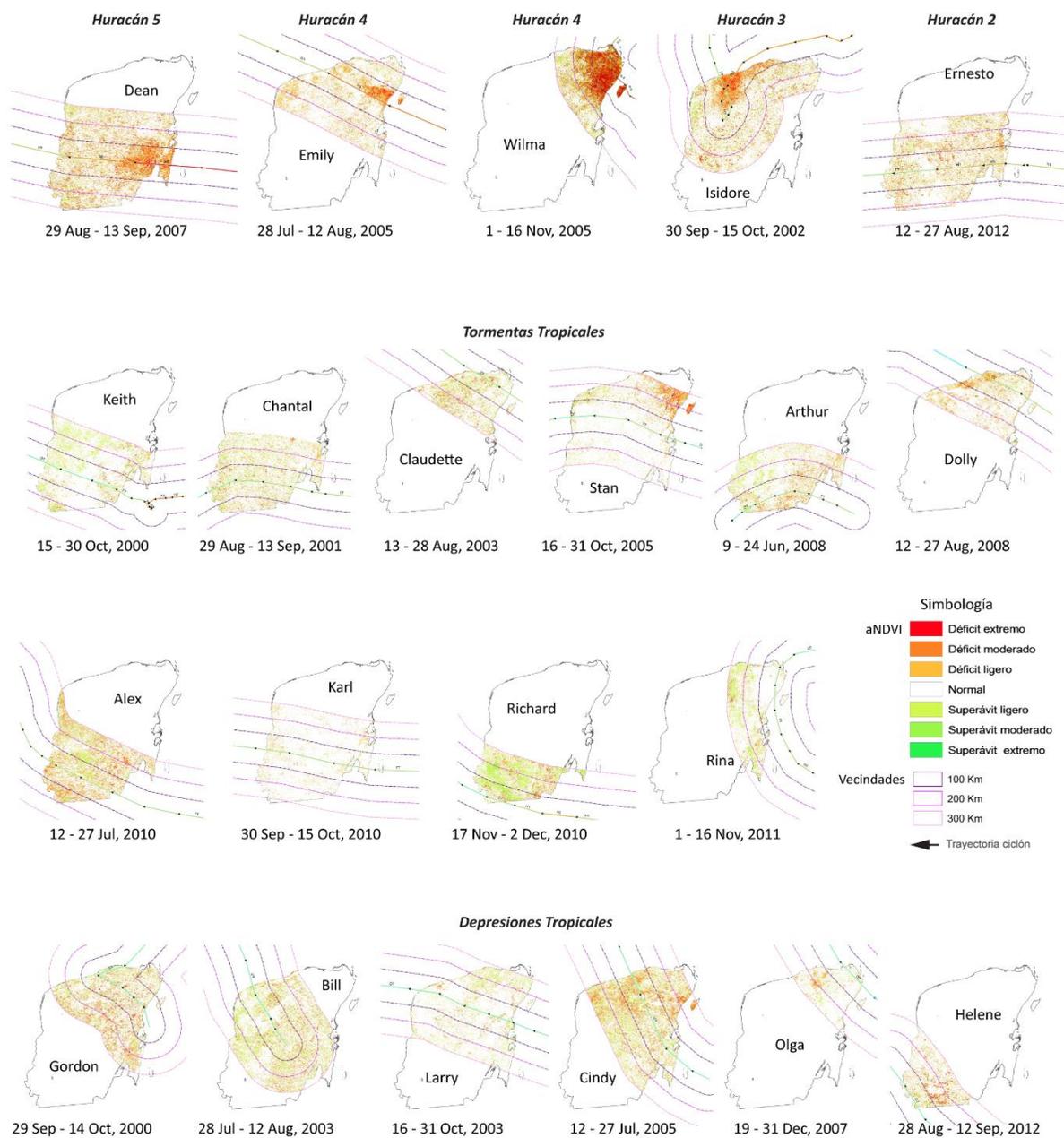
Las distancias recorridas por los meteoros sobre tierra fueron variadas, desde unos pocos kilómetros como el caso de la tormenta tropical *Ricard* con 57.5 km, hasta un máximo de 342. km del huracán *Ernesto* (H2). En su conjunto las trayectorias de los veintiún (21) ciclones en su paso por tierra, representan un recorrido aproximado de 4,553 km.

En cuanto al tipo de impacto sobre la vegetación de la región, el 67% (n=14) de los ciclones representaron un impacto negativo sobre los ecosistemas vegetales, incrementando los valores de la aNDVI como consecuencia de la influencia de los vientos y lluvias generados por los meteoros, lo que se tradujo en un incremento del estado de estrés de la vegetación. Por otro lado, el 33% (n=7) de los fenómenos, representaron un impacto positivo ligeramente significativo sobre la vegetación, dado que su influencia favoreció el descenso de los valores de las aNDVI desde su aparición, hasta unas pocas semanas posteriores a su paso por tierra. Cabe destacar que estos últimos fueron ciclones con intensidad de tormenta y depresión tropical (n=5 y n=7, respectivamente).

Por lo que a la intensidad de los impactos se refiere, se observó que en diez (10) de los casos cuyo impacto se considera negativo, las diferencias entre los valores máximos extremos de las aNDVI asociados a cada fenómeno con respecto a los valores presentes antes de su formación, no representaron un incremento superior al 10%, lo que se puede interpretar como impactos poco significativos. Estos fenómenos fueron en su mayoría

ciclones con categoría de depresión y tormenta tropicales, con excepción de huracán *Ernesto* (H2).

Entre los ciclones cuya diferencia de las aNDVI (antes y después del paso del ciclón por tierra) alcanzaron valores porcentuales entre el rango del 10 y 20%, se encuentran los huracanes *Isidore* (H3), *Emily* (H4) y *Dean* (H5), cuyo impacto se puede catalogar como de tipo moderado. Sobresale por la intensidad de su impacto, el caso del huracán *Wilma* (H4), el cual presentó una diferencia de valores de la aNDVI cercano al 70%, por lo que su impacto se considera altamente significativo o extremo. En la Figura 32 se muestran un comparativo de los compuestos que presentaron los máximos valores de las aNDVI por ciclón.



Nota: Clasificación del fenómeno corresponde a la categoría que presentó cada uno al momento del impacto en tierra.

Figura 32: Compuestos con los máximos valores de aNDVI por ciclón.

En lo concerniente a aquellos fenómenos que se considera tuvieron un impacto positivo sobre la vegetación, las diferencias de los valores de las aNDVI no superaron en ninguno de los casos el 10%, siendo la máxima diferencia cercana a un 6% para el caso de la depresión tropical *Olga*.

El concentrado con los resultados de las estimaciones de las superficies máximas impactadas según las zonas de estudio (vecindades) determinadas para el presente proyecto, así como los tiempos de recuperación de las aNDVI clasificadas como de déficit extremo-moderado a niveles equivalentes a los presentados en el compuesto anterior al impacto del ciclón se presentan en el Cuadro 18.

Cuadro 18: Estimación de la superficie máxima impactada (aNDVI clasificadas como de déficit extremo-moderado) por ciclón, por vecindad y periodo de retorno de los valores cercanos o menores a los presentes antes del impacto del ciclón. a) ciclones que representaron impacto negativo, b) ciclones que representaron un impacto positivo.

a) Tipo de Impacto: Negativo

Ciclón	Año	Impacto en tierra			Vecindad con máx. impacto	Máxima superficie afectada ¹		Máximo incremento ² [%]	Recuperación ³	
		Categoría	Vientos Máx. Sost. [Km/hr]	Distancia recorrida		%	Km2		Intervalo [Comp.]	Semanas apróx.
<i>Gordon</i>	2000	DT	46	275.15	V-300	9.70	5,900.86	5.24	1	2 - 3
<i>Keith</i>	2000	TT	83	249.26	V-100	11.84	7,587.57	1.82	1	2 - 3
<i>Isidore</i>	2002	H3	204	301.87	V-100	21.31	9,322.54	14.66	1	2 - 3
<i>Bill</i>	2003	DT	37	210.71	V-200	5.48	4,640.93	1.84	2	4 - 5
<i>Claudette</i>	2003	TT	93	126.48	V-200	6.63	2,230.85	1.34	> 6	> 13
<i>Cindy</i>	2005	DT	56	296.82	V-100	11.22	8,260.82	8.84	1	2 - 3
<i>Emily</i>	2005	H4	278	209.40	V-100	15.50	7,766.06	12.80	4	9 - 10
<i>Wilma</i>	2005	H4	222	99.99	V-100	72.54	9,368.73	69.07	1	2 - 3
<i>Dean</i>	2007	H5	278	315.40	V-100	21.29	12,363.62	16.17	1	2 - 3
<i>Arthur</i>	2008	TT	65	231.52	V-300	11.63	6,313.37	9.39	1	2 - 3
<i>Alex</i>	2010	TT	102	212.34	V-100	14.13	6,905.24	6.59	2	4 - 5
<i>Richard</i>	2010	TT	74	57.57	V-100	5.56	1,782.54	4.88	2	4 - 5
<i>Ernesto</i>	2012	H2	157	342.30	V-200	7.75	5,631.27	2.20	1	2 - 3
<i>Helene</i>	2012	DT	46	79.28	V-100	9.15	2,223.45	4.58	2	4 - 5

b) Tipo de Impacto: Positivo

Ciclón	Año	Impacto en tierra			Vecindad con máx. impacto	Mínima superficie afectada ⁴		Máximo decremento ⁵ [%]	Recuperación ⁶	
		Categoría	Vientos Máx. Sost. [Km/hr]	Distancia recorrida		%	Km2		Intervalo [Comp.]	Semanas apróx.
<i>Chantal</i>	2001	TT	102	276.27	V-100	5.33	3,362.42	-2.98	2	4 - 5
<i>Larry</i>	2003	DT	37	303.85	V-100	7.94	5,576.64	-0.30	2	4 - 5
<i>Stan</i>	2005	TT	74	323.03	V-300	3.78	3,364.85	-4.73	2	4 - 5
<i>Olga</i>	2007	DT	56	63.49	V-200	2.73	570.45	-6.28	2	4 - 5
<i>Dolly</i>	2008	TT	83	175.76	V-300	4.31	1,867.79	-2.80	2	4 - 5
<i>Karl</i>	2010	TT	102	303.62	V-300	8.29	6,740.53	-0.18	2	4 - 5
<i>Rina</i>	2011	TT	102	98.92	V-100	4.16	1,127.46	-1.17	2	4 - 5

Notas:

1. Máxima cobertura (superficie) con valores extremos de las aNDVI como resultado de paso por tierra del ciclón.
2. Máximo porcentaje de incremento de las aNDVI, con respecto al compuesto previo al contacto del ciclón con tierra.
3. Lapso en que los valores de las aNDVI retornan a valores cercanos o menores a los existentes antes del impacto del ciclón con tierra.
4. Mínima cobertura (superficie) con valores extremos de las aNDVI posteriores al impacto del ciclón en tierra y previo a que dichos valores se vuelvan a incrementar.
5. Máximo nivel de descenso de los valores de las aNDVI con respecto a los existentes antes del impacto en tierra del ciclón.
6. Lapso en que los valores de las aNDVI alcanzan el mínimo porcentaje registrado, previo a que estos se vuelvan a incrementar.

El impacto sobre la vegetación tiene una relación directa con la trayectoria de cada ciclón, por lo que los efectos sobre los diferentes tipos de ecosistemas dependerán de la cercanía, intensidad del fenómeno, la intensidad de la precipitación y de la permanencia del fenómeno sobre cada región.

De los resultados obtenidos se aprecia que es la vegetación de tipo selva, la que debido a la extensión territorial que ocupa, fue la que mayores efectos adversos presentó en el 64% (n=9) de los casos en que los efectos de los ciclones fueron de tipo negativo. A esta le sigue la vegetación de tipo hidrófila, la cual presentó las principales afectaciones en el 36% (n=5) de los eventos ciclónicos estudiados.

Independiente de la intensidad de los ciclones, se pudo observar que en el 38% de los casos (n=8) los valores de las aNDVI retornaron a valores cercanos o menores a los existentes antes del paso del ciclón por tierra en un lapso no mayor de dos (2) a tres (3) semanas, mientras el 52% (n=11) lo hicieron en un lapso de entre cuatro (4) y cinco (5) semanas. Los casos más extremos corresponden al huracán *Emily* (H4), el cual no presentó valores cercanos a los registrados antes de su paso por tierra hasta después de nueve (9) a diez (10) semanas posteriores, otro caso corresponde a la tormenta tropical *Claudette*, en la cual después de un periodo mayor a trece (13) semanas no se registró una disminución significativa de los valores de las aNDVI (Figura 33).

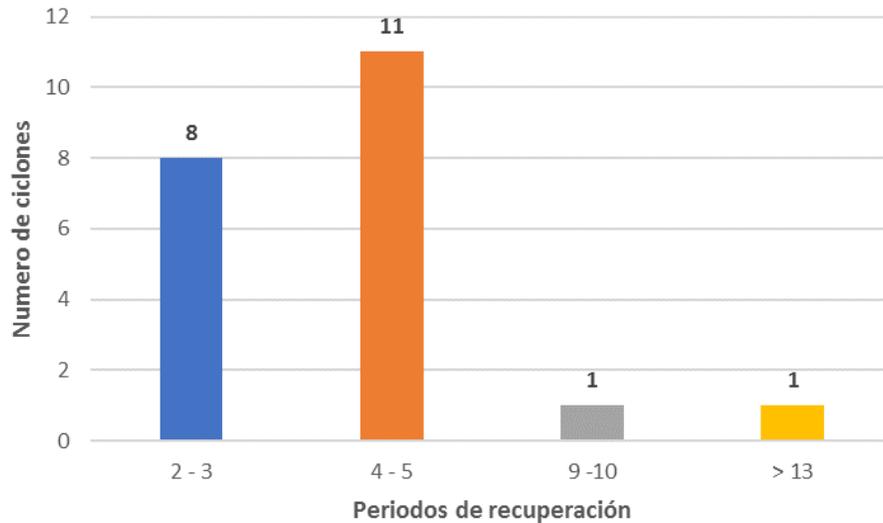


Figura 33: Numero de ciclones por periodo (semanas) de retorno de los valores de las aNDVI.

En este punto, cabe aclarar que los valores del NDVI, solo hacen referencia a la salud (vigorosidad) de la vegetación en términos de su actividad fotosintética, es decir, este índice no provee información que permita conocer si los impactos directos sobre la vegetación ocasiono daños de tipo estructural, por ejemplo, en los caso de la selva media y baja, así como del manglar (vegetación hidrófila), no se distingue si los daños se relacionan únicamente con la disminución del follaje o si los árboles fueron arrancados del suelo. De manera similar, el NDVI, no permite la distinción entre los factores que inciden sobre la vegetación, como sería el caso de la intensidad de los vientos y los volúmenes de agua por las precipitaciones extremas.

Esto sin embargo no merma, ni afecta los resultados del presente estudio, pues los objetivos del mismo se refieren a la evaluación de la capacidad de la vegetación para retornar a un estado de salud equivalente o cercano a los que tenía antes del impacto de los ciclones, lo cual se estimó en función de su estado de verdor (capacidad fotosintética).

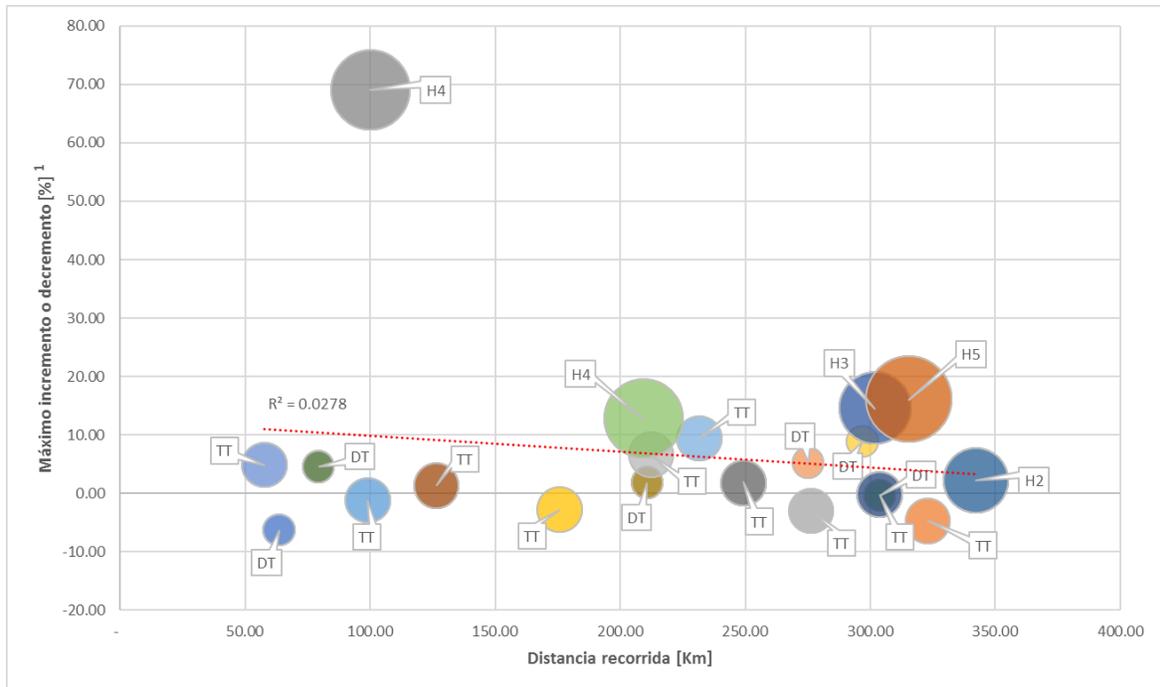
Para identificar la relación existente entre diversas variables como son la intensidad del ciclón (categoría), distancia recorrida, la superficie máxima impactada, máxima diferencia y tiempo de recuperación de los niveles de las aNDVI a valores cercanos o menores a los existentes antes del paso de los mismos por tierra, se llevó a cabo un análisis de regresión múltiple. Este procedimiento permitió calcular el coeficiente de correlación de Pearson para cada par de variables (Cuadro 19).

Cuadro 19: Matriz de correlación múltiple.

	<i>Categoría</i>	<i>Distancia recorrida [Km]</i>	<i>Máxima superficie afectada [%]</i>	<i>Máxima diferencia aNDVI [%]</i>	<i>Intervalo [Comp.]</i>
<i>Categoría</i>	1				
<i>Distancia recorrida [Km]</i>	0.16	1			
<i>Máxima superficie afectada [%]</i>	0.63	-0.12	1		
<i>Máxima diferencia aNDVI [%]</i>	0.63	-0.17	0.99	1	
<i>Intervalo [Comp.]</i>	-0.07	-0.34	-0.24	-0.23	1

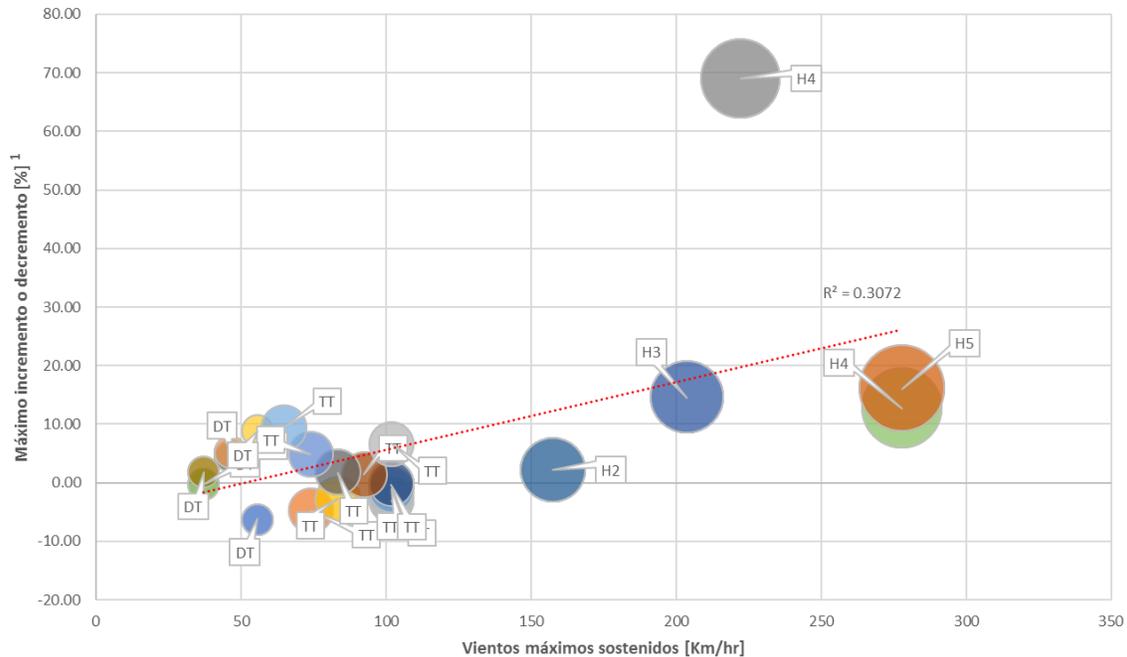
Donde: Comp. = Compuestos

Del análisis de correlación múltiple sobresale que no existe relación entre la categoría del ciclón con la distancia recorrida en tierra y el intervalo de recuperación de los valores de aNDVI (disminución del estrés de la vegetación) (Figura 34), sin embargo, los resultados indican una relación medianamente significativa entre la categoría del ciclón con la extensión superficial (área) afectada, así como con las diferencias entre los valores de la aNDVI antes y después del paso del ciclón por tierra (Figura 35). Tampoco se detectó una relación entre la distancia recorrida con la superficie máxima afectada, ni con la diferencia de valores aNDVI antes y después del paso del ciclón, esto se puede comprender, debido al hecho de que las trayectorias en ocasiones cruzan por tierra firme en zonas muy cercanas a la costa, lo que, por ende, disminuye las extensiones (áreas) susceptibles de ser afectadas por el meteoro.



1. *Máximo nivel de incremento o decremento de los valores de las aNDVI con respecto a los existentes antes del impacto en tierra del ciclón.*
2. *El diámetro de las circunferencias responde a la categoría de cada ciclón.*
3. R^2 , *corresponde al valor del coeficiente de regresión lineal.*

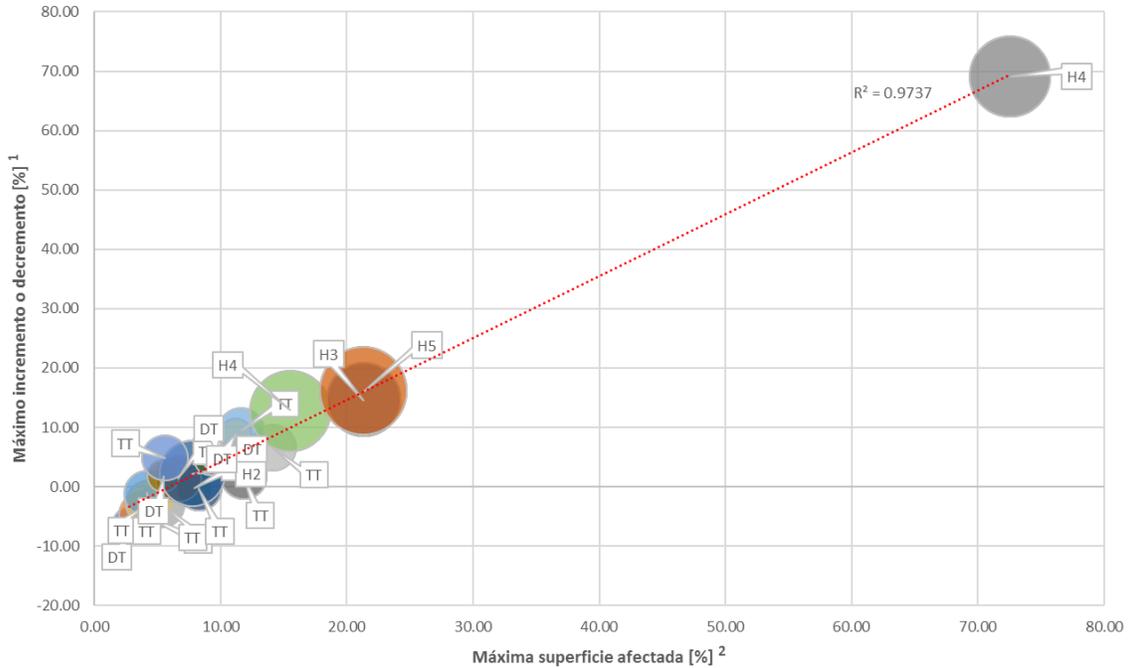
Figura 34: Relación entre la distancia recorrida y el máximo incremento registrado por ciclón.



1. *Máximo nivel de incremento o decremento de los valores de las aNDVI con respecto a los existentes antes del impacto en tierra del ciclón.*
2. *El diámetro de las circunferencias responde a la categoría de cada ciclón.*
3. R^2 , *corresponde al valor del coeficiente de regresión lineal.*

Figura 35: Relación entre los vientos máximos sostenidos y el máximo incremento registrado por ciclón.

La máxima relación se da entre la superficie máxima impactada y la diferencia de los valores de aNDVI (antes y después del paso del ciclón), es decir, de acuerdo a los resultados del análisis de correlación múltiple, a mayor aumento o disminución de la superficie máxima impactada, las diferencias de los valores de aNDVI antes y después del paso del ciclón (medida del estado de estrés de la vegetación) se incrementan o decrecen de manera directamente proporcional (Figura 36).



1. Máximo nivel de incremento o decremento de los valores de las aNDVI con respecto a los existentes antes del impacto en tierra del ciclón.
2. Máxima cobertura (superficie) con valores extremos de las aNDVI como resultado del paso por tierra del ciclón.
3. El diámetro de las circunferencias responde a la categoría de cada ciclón.
4. R^2 , corresponde al valor del coeficiente de regresión lineal.

Figura 36: Relación entre la máxima superficie impactada y el máximo incremento registrado por ciclón. Ambas en términos de los valores extremos de las aNDVI.

Dado que en el presente estudio no tiene entre sus objetivos la incorporación de la variable precipitación, no es posible identificar posibles correlaciones entre los impactos generados por ciclones, diferenciando entre los volúmenes de agua precipitados y la intensidad del fenómeno.

CONCLUSIONES

La metodología utilizada en este proyecto permitió cumplir con cada uno de los objetivos y comprobar la hipótesis planteada en este estudio, confirmando que la implementación de técnicas de percepción remota para la determinación de las anomalías estandarizadas del NDVI, como medio para identificar zonas y niveles de estrés de la vegetación en la PY, ofrece una forma relativamente sencilla y rápida para identificar los impactos provocados por los volúmenes de agua y vientos asociados a cada ciclón y por ende, la estimación de la resiliencia de la vegetación medida en función de los tiempos requeridos por los ecosistemas para retornar a valores equivalentes a los presentados previamente.

El diseño e implementación de zonas de impacto, facilitó el análisis e identificación de los efectos sobre la vegetación como resultado directo del impacto en tierra de los ciclones tropicales, al aislar las zonas afectadas para su estudio.

A través de los resultados obtenidos se pudo comprobar que la vegetación de la península se encuentra perfectamente adaptada al embate de los ciclones tropicales, ya que con excepción de los Huracanes *Wilma* y *Dean*, los cambios o impactos significativos sobre la vegetación fueron menores al 20%, medido en términos del incremento de los valores de las aNDVI antes y después del paso por tierra de cada ciclón.

Así mismo, los resultados del presente estudio demuestran que en la mayoría de los casos (> 90%) la vegetación de la península se recupera en unas pocas semanas, incluso en los casos extremos (Huracanes *Wilma* y *Dean*) la vegetación en un lapso máximo de 6 semanas presentaba claras señales de recuperación, salvo en el caso particular de la vegetación hidrófila en la zona sur del estado de Quintana Roo, por los efectos del huracán *Dean*, donde la recuperación del Mangle tomó varias semanas.

Por otro lado, muchos de los ciclones de baja intensidad, no solo, no representaron un impacto negativo sobre está, sino por el contrario, las lluvias provocadas por los fenómenos hidrometeorológicos favorecieron la recuperación de la vegetación, especialmente en aquellos casos en que previo al impacto de los ciclones, la región había pasado periodos de sequía, poca precipitación o incendios forestales.

En dos casos (depresión tropical *Gordon* y tormenta tropical *Arthur*), los efectos de los ciclones se concentraron en una zona que no sobrepasa los 100 km en perpendicular a cada lado de la trayectoria de los ciclones.

En cuanto a la presencia de patrones relacionados con la intensidad de los ciclones, su área de impacto, recorrido en tierra, máximo incremento de valores de las aNDVI y periodos de recuperación, únicamente se encontró que, a mayor cambio de la superficie máxima impactada, la diferencia de los valores de las aNDVI antes y después del paso del ciclón (medida del estado de estrés de la vegetación) se incrementan o decrecen de forma directamente proporcional. En los demás casos, no se observó relación entre las variables, esto se puede deber principalmente a que la superficie impacta por los efectos de los meteoros depende directamente de la distancia de la trayectoria con respecto a la costa.

Por la facilidad para la obtención de la información base y la simplicidad de los procedimientos planteados en este estudio, se considera que la metodología utilizada ofrece grandes ventajas para poder tener información rápida y con un buen grado de confiabilidad sobre los impactos provocados por ciclones, permitiendo contar con información expedita para los tomadores de decisiones y en consecuencia, para el oportuno diseño e implementación de programas y estrategias de atención a emergencia.

El conocimiento de las áreas y tipos de vegetación impactados por fenómenos hidrometeorológicos ciclónicos ofrece, por un lado, el enriquecimiento del conocimiento de

las características de resistencia y resiliencia de los componentes del sistema natural de la región y por otro, provee de información básica y necesaria para la elaboración de estudios y proyectos, así como la implementación de acciones tendientes a fortalecer las medidas de adaptación ante el cambio climático.

La incorporación de variables adicionales como es el caso de la precipitación, fenómenos hidrometeorológicos distintos a los ciclones, como son el caso de sequías, permitiría la formulación de nuevas preguntas de investigación las cuales podrían aportar nuevos indicios y respuestas puntuales sobre los diversos factores que inciden la salud y capacidad de resiliencia y resistencia de los sistemas vegetales de la región.

Dado el enorme volumen de imágenes finales generadas ($n > 2,000$) para la identificación y análisis de las variaciones de los valores de las aNDVI, por ciclón, zona de impacto (vecindad) y tipo de vegetación, como segunda etapa se recomienda la exploración en el uso e implementación de sistemas de cómputo para el manejo de series de tiempo, como es el caso del software *Timesat32*.

BIBLIOGRAFÍA

- Alatorre, L. C., Beguería, S. y Vicente-Serrano, S. M., 2010. Análisis de la evolución espacio-temporal del NDVI sobre áreas vegetadas y zonas de riesgo de erosión en el Pirineo Central. *Pirineos. Revista de Ecología de Montaña*, Volumen 165, pp. 7-27.
- Bianchette, T. A., Liu, K. B., Lam, N. y Kiage, L. M., 2009. *Ecological impacts of Hurricane Ivan on the gulf coast of Alabama: A remote sensing study*. s.l., Journal of Coastal Research, Special Issue No. 56, p. 1622–1626.
- Calvente, A. M., 2007. *Resiliencia: un concepto clave para la sustentabilidad. Reporte*. s.l.:Programa de Difusión e Investigación en Sustentabilidad, Centro de Altos Estudios Globales, Universidad Abierta Interamericana, Buenos Aires.
- Cervantes-Zamora, Y. et al., 1990. *Provincias Fisiográficas de México*. s.l.:Extraído de Clasificación de Regiones Naturales de México II, IV.10.2. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM.
- Clark, J., Megown, K. y Jacokes-Mancini, R., 2006. *Hurricane Katrina damage assessment on lands managed by the DeSoto National Forest using multi-temporal Landsat TM imagery and high resolution aerial photography*. Salt Lake City, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Remote Sensing Applications Center.
- De La Casa, A. y Ovando, G., 2006. Relación entre la precipitación e índices de vegetación durante el comienzo del ciclo anual de lluvias en la provincia de Córdoba, Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, Volumen 35, pp. 67-85.
- George, P., 1980. *Geografía Activa*. Barcelona: Editorial Ariel, colección Elcano, la geografía y sus problemas.

- Gilabert, M. A., González-Piqueras, J. y García-Haro, J., 1997. Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección*, Volumen 8, pp. 1-10.
- Gómez-Mendoza, L., 2007. La relación entre el índice normalizado de vegetación y la variabilidad del clima en Oaxaca: una herramienta para el manejo de ecosistemas. *Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*.
- Gómez-Mendoza, L., Galicia, L. y Aguilar-Santelises, R., 2007. Sensibilidad de grupos funcionales al cambio climático en la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*.
- Gómez-Mendoza, L. et al., 2008. Assessing onset and length of greening period in six vegetation types in Oaxaca, Mexico, using NDVI-precipitation relationships. *Int J Biometeorol*, 52(6), p. 511.
- Granados-Ramírez, R.; Galindo M., M.G.; Hernández C., M.H.; Contreras S., C.; Madero, G., 2008. Monitoring the land cover and land use, using NOAA-AVHRR data in the. *Geocarto International*, Volume 23(4), pp. 273-285.
- Granados-Ramírez, R., Reyna-Trujillo, T., Gómez-Rodríguez, G. y Soria-Ruiz, J., 2004. Analysis of NOAA-AVHRR-NDVI images for crops monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9 & 10), pp. 1615-1640.
- Hernández Unzón, A. y Bravo, C., 2005. *Resumen del huracán "Wilma" del Océano Atlántico*, México: Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica Unidad del Servicio Meteorológico Nacional, Subgerencia de Pronóstico Meteorológico.
- Holling, C., 1973. Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Volumen 4, pp. 1-23.

- Huete, A. et al., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), pp. 195-213.
- IBTrACS, 2013. *Online IBTrACS browsing. Disponible en línea en:*
<ftp://eclipse.ncdc.noaa.gov/pub/ibtracs/>
- INEGI, 1987. *Guías para la Interpretación de Cartografía, Topografía*. s.l.:Instituto Nacional de Estadística e Informática. Secretaría de Programación y Presupuesto.
- INEGI, 2001. *Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional escala 1:1 000 000 serie I (Provincias fisiográficas)*. s.l.:Instituto Nacional de estadística, Geografía e Informática.
- INEGI, 2005. *Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México*. s.l.:Instituto Nacional de estadística. Dirección de Capacitación.
- INEGI, 2009. *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250,000, serie IV (continuo nacional), escala: 1:250000*. Aguascalientes: Dirección General de Geografía. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Islebe, G. A. y otros, 2009. Efectos del impacto del huracán Dean en la vegetación del sureste de Quintana Roo, México. *Foresta Veracruzana, Recursos Genéticos Forestales*, 11(1), pp. 1 - 6.
- Jiménez Espinosa, M., Matías Ramírez, L. G., Fuentes Mariles, Ó. A. y Prieto González, R., 2003. *Ciclones Tropicales, Serie Fascículos*. s.l.:Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Secretaría de Gobernación (SEGOB).
- Lam, N. et al., 2011. *Effects of hurricanes on the Gulf Coast Ecosystems: A remote sensing study of land cover change around Weeks Bay, Alabama*. s.l., Journal of Coastal Research, p. 1707–1711.

- Maples - Vermeersch, M., 1992. *Regímenes de humedad del suelo en Hidrogeografía IV.6.2 Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:4000000*. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- Orellana, R., Espadas, C., Conde, C. y Gay, C., 2009. *Atlas. Escenarios de Cambio Climático en la Península de Yucatán*. s.l.:Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
- Parenti, M. S., 2015. *Hurricane Effects on Mangrove Canopies Observed from MODIS and SPOT Imagery*, s.l.: Strategy & Analytics, Saatchi & Saatchi Wellness New York, NY.
- Ramsey III, E. W., Chappell, D. K. & Baldwin, D. G., 1997. AVHRR Imagery Used to Identify Hurricane Damage in a Forested Wetland of Louisiana. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 63(3), pp. 293-297.
- Rodgers, J. C., Murrah, A. W. and Cooke, W. H., 2009. The Impact of Hurricane Katrina on the Coastal Vegetation of the Weeks Bay Reserve, Alabama from NDVI Data. *Estuaries and Coasts*, Volumen 32, p. 496.
- Rodríguez López, O. et al., 2013. *Análisis de metodologías para monitorear y estimar escenarios de la ocurrencia de sequía a corto, mediano y largo plazo para México (TH1325.1)*. s.l.:Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Coordinación de Hidrología. Subcoordinación de Hidrometeorología.
- Rosengaus Moshinsky, M., Jiménez Espinosa, M. y Vázquez Conde, M. T., 2002. *Atlas climatológico de ciclones tropicales en México*. s.l.:Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

- Rouse, J. W. et al., 1974. *Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. NASA/OSFC. Type III. Final Report.*, s.l.: Oreenbello MD.
- Sánchez, R. E. et al., 2000. *Comparación del NDVI con el PVI y el SAVI como Indicadores para la Asignación de Modelos de Combustible para la Estimación del Riesgo de Incendios en Andalucía.* s.l.:Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible. Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá.
- Sánchez-Sánchez, O. and Islebe, G. A., 1999. Hurricane Gilbert and structural changes in a tropical forest. *Global Ecology and Biogeography*, Volumen 8, pp. 29-38.
- Sánchez-Sesma, J., Prieto González, R. y Magaña Rueda, V. O., 2009. *Análisis de la Frecuencia e Intensidad de los Ciclones Tropicales (CTs) para Prevenir los Efectos, Presentes y Futuros, Debidos a la Variabilidad y el Cambio Climático en México. Informe Final Proyecto TH0918.3.* Jiutepec(Morelos): Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).
- Schott, T. et al., 2012. *The Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale.* s.l.:National Hurricane Center (NHC), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).
- Soría-Ruiz, J. y Granados-Ramírez, R., 2004. Methodology for prediction of corn yield. *Investigaciones Geográficas, Instituto de Geografía, UNAM. México*, Numero 55, pp. 61-68.
- Tun, J., Perdigón, T., Chalé, G. y Gil, C., 2005. *Impacto Socioeconómico del Huracán Wilma en la Localidad de Playa del Carmen*, Playa del Carmen, Quintana Roo: Observatorio Urbano de la Riviera Maya, Observatorio Urbano Local de Playa del Carmen, Universidad de Quintana Roo.

- Valdez, M. C., Chen, C. F., Son, N. T. and Chang, L. Y., 2010. Vegetation Recovery Monitoring at Landslides Caused by Hurricane Mitch in Honduras, Central America. *Section TS24: Digital photogrammetry*.
- Vandecar, K. L. et al., 2011. High mortality for rare species following hurricane disturbance in the southern Yucatan. *Biotropica*, Volume 43, p. 676–84.
- Vidal Zepeda, R., 2005. *Las regiones climáticas de México*. s.l.:Instituto de Geografía, UNAM, México, Colección Temas Selectos de Geografía de México (I.2.2).
- Vilar Fernández, J. M., 2006. *Modelos Estadísticos Aplicados*. s.l.:Publicaciones de la UDC, monografía 101.
- Wilks, D. S., 1995. *Statistical methods in the atmospheric sciences: an introduction*. New York: Department of Soil, Crop and Atmospheric Sciences, Cornell university, Academic Press.
- Zenteno Casas, M., Avelar Frausto, C. y Reinoso Angulo, E., 2006. Estadísticas de los daños por viento causados a las estructuras por el Huracán Wilma en el Caribe Mexicano. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, XV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*.

ANEXO: RESULTADOS POR CICLÓN

Huracán Gordon

Datos generales del ciclón

General

Categoría máx.	H1
Fecha/hora [UTC] Inicio	14/09/2000 12:00
Fecha /hora [UTC] Fin	21/09/2000 00:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	130
Distancia recorrida [km]	3,884.12

Impacto en Tierra

Categoría en Tierra	DT
Fecha /hora [UTC]	17/09/2000 06:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	46
Distancia recorrida [km]	275.15

Trayectoria y vecindades

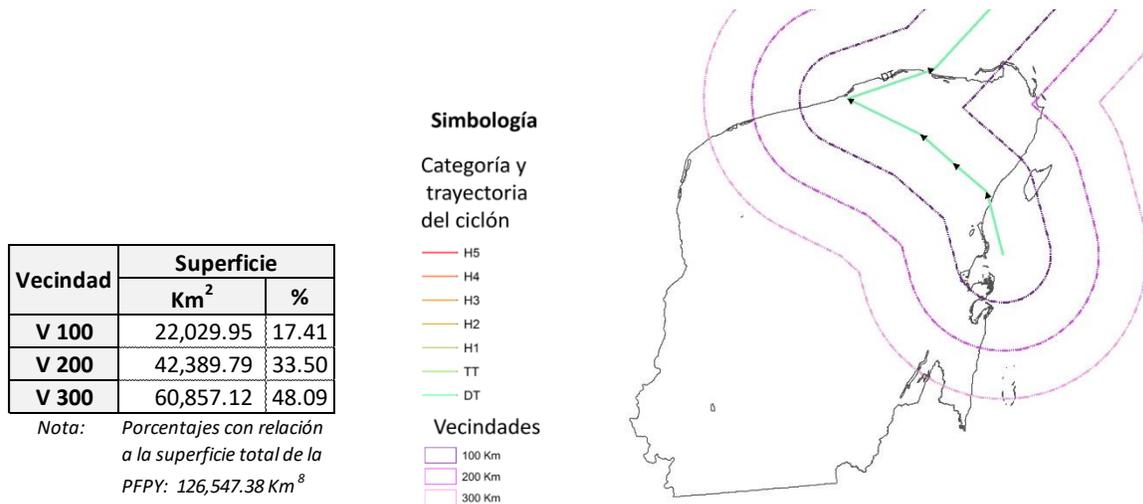


Figura 37: Trayectoria del huracán Gordon y delimitación de las zonas de impacto (vecindades).

En el Cuadro 20, se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 20: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán Gordon.

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	13,927.41	63.22	30,052.05	70.89	45,354.91	74.53
Pastizal	5,971.08	27.10	6,546.61	15.44	6,911.79	11.36
Agrícola	628.28	2.85	1,519.85	3.59	2,679.31	4.40
Vegetación hidrófila	1,107.99	5.03	3,285.45	7.75	4,303.47	7.07

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

El huracán *Gordon* fue el primero de dos fenómenos que cruzaron la PY en el año 2000, presentando un impacto negativo poco significativo sobre la vegetación de la región. Los efectos en términos del aumento del porcentaje de las aNDVI clasificadas como déficit extremo y moderado, fueron pocos (no mayores a un 6% a los presentados en el compuesto anterior al impacto en tierra), esto se debió principalmente a que, en el momento de ingresar a tierra, el ciclón había disminuido su intensidad a la categoría de depresión tropical, con vientos máximos sostenidos de 46 km/h.

Los valores extremos de las aNDVI se presentan en el compuesto posterior a la formación del ciclón (C-18), siendo la zona V-300, donde se tiene la máxima superficie afectada. Por lo que se refiere a la recuperación del estado de la vegetación, es en un periodo de entre dos (2) a tres (3) semanas (C-19), cuando los valores máximos de las aNDVI retornan a valores equivalentes a los existentes antes de la presencia del fenómeno (Figura 38).

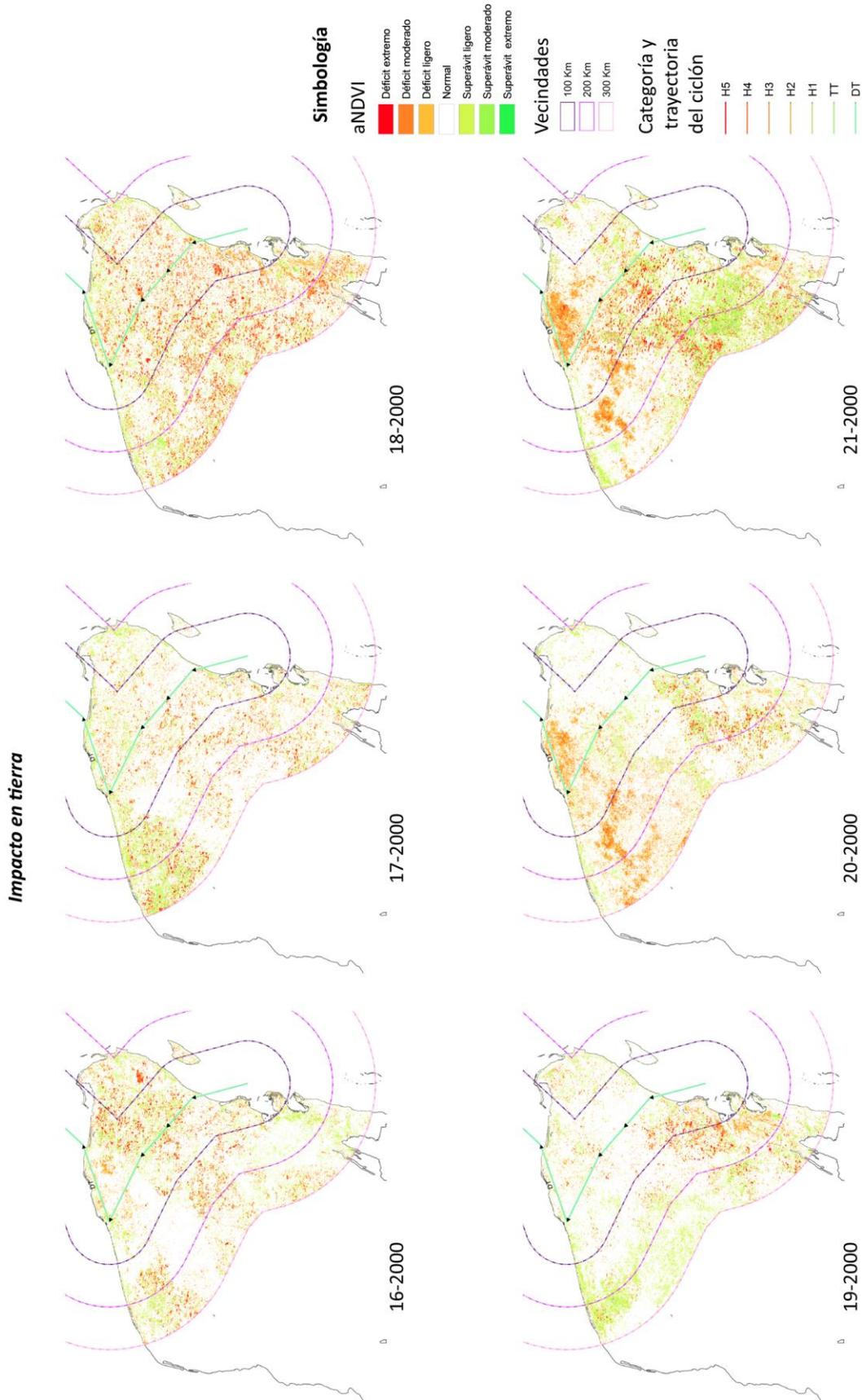


Figura 38: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán Gordon por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 21. Por su parte, en la Figura 39, se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI desde el compuesto previo al impacto, hasta cuatro (4) compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 17 (C-17).

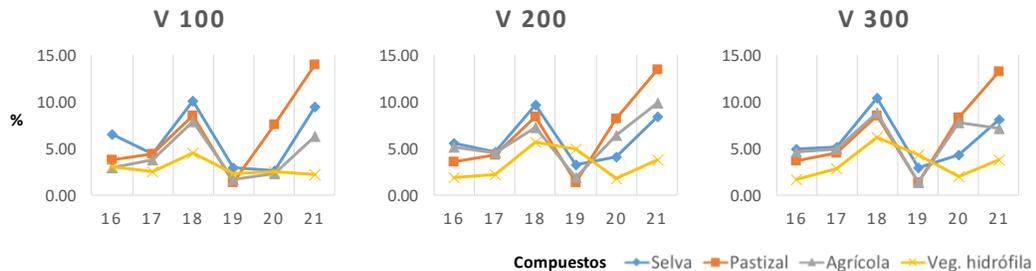
Cuadro 21: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán Gordon por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos					
	16	17	18	19	20	21
Selva	6.58	4.39	10.06	2.99	2.69	9.50
Pastizal	3.84	4.47	8.51	1.37	7.59	14.03
Agrícola	2.92	3.80	7.91	1.72	2.34	6.34
Veg. hidrófila	3.03	2.56	4.50	2.32	2.58	2.26

Tipos de vegetación	Compuestos					
	16	17	18	19	20	21
Selva	5.65	4.63	9.70	3.30	4.09	8.45
Pastizal	3.65	4.35	8.42	1.41	8.24	13.44
Agrícola	5.16	4.52	7.24	1.90	6.42	9.93
Veg. hidrófila	1.90	2.27	5.71	4.95	1.84	3.85

Tipos de vegetación	Compuestos					
	16	17	18	19	20	21
Selva	4.91	5.14	10.47	2.98	4.37	8.07
Pastizal	3.66	4.51	8.54	1.45	8.35	13.21
Agrícola	4.68	4.93	8.80	1.36	7.83	7.12
Veg. hidrófila	1.74	2.90	6.22	4.39	2.02	3.80

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 17



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 39: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán Gordon por la PY.

Los tipos de vegetación más impactados corresponden a la selva, pastizal y agrícola, siendo la vegetación hidrófila la que muestra el menor porcentaje de aNDVI extremos.

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los máximos valores registrados para la vegetación del tipo selva, fueron del orden de 1,400.64 km² en la V-100; 2,916.03 km² en la V-200; y 4,747.22 km² en la V-300.

En la Figura 39, se puede apreciar como hacia los compuestos 20 y 21, se incrementan significativamente los valores extremos de las aNDVI, este incremento no se asocia al

huracán *Gordon*, sino a los efectos provocados por la presencia del huracán *Keith*, el cual impactó la zona sur-oeste de la PY, una semana después del huracán *Gordon*.

Huracán Keith

Datos generales del ciclón

General	
Categoría máx.	H4
Fecha/hora [UTC] Inicio	28/09/2000 18:00
Fecha /hora [UTC] Fin	06/10/2000 06:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	222
Distancia recorrida [km]	2,179.30

Impacto en Tierra	
Categoría en Tierra	TT
Fecha /hora [UTC]	01/10/2000 06:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	83
Distancia recorrida [km]	249.26

Trayectoria y vecindades

Vecindad	Superficie	
	Km ²	%
V 100	24,982.12	19.74
V 200	49,708.71	39.28
V 300	68,371.81	54.03

Nota: Porcentajes con relación a la superficie total de la PFPY: 126,547.38 Km²

Simbología

Categoría y trayectoria del ciclón

- H5
- H4
- H3
- H2
- H1
- TT
- DT

Vecindades

- 100 Km
- 200 Km
- 300 Km

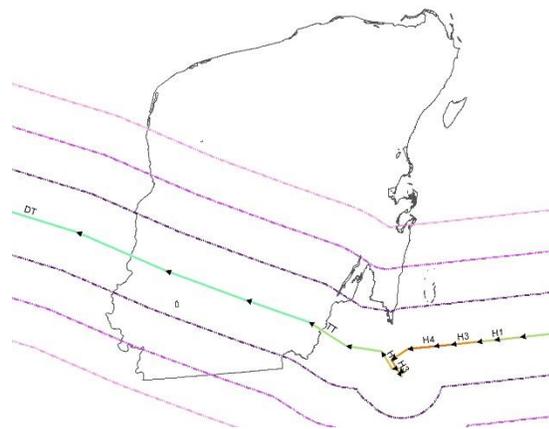


Figura 40: Trayectoria del huracán Keith y delimitación de las zonas de impacto (vecindades)

En el Cuadro 22 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 22: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán Keith

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	20,931.07	83.78	41,450.62	83.39	56,129.80	82.09
Pastizal	2,209.07	8.84	4,328.81	8.71	5,190.89	7.59
Agrícola	1,448.68	5.80	2,496.94	5.02	3,512.28	5.14
Vegetación hidrófila	214.30	0.86	972.39	1.96	2,787.59	4.08

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

El huracán *Keith* impacta en el sur de la PY, 14 días después del paso del huracán *Gordon* y de manera similar a su antecesor, al momento del contacto con tierra ya había disminuido considerablemente su intensidad hasta la categoría de tormenta tropical, con vientos máximos sostenidos del orden de los 83 km/h.

Los máximos efectos sobre la vegetación se presentan en el mismo compuesto en el que se registra su paso por tierra, dichos efectos fueron poco significativos en relación con el estado que guardaba la vegetación en el compuesto previo al contacto con tierra. El porcentaje de anomalías extremas no representa un aumento superior al 2% con respecto al estado previo.

Por otro lado, donde se registran cambios importantes, es hacia la segunda quincena después del impacto, donde los valores extremos de las aNDVI descienden significativamente, alcanzando valores cercanos a los considerados como normales (climatologías aNDVI). En términos de superficie se estimó un cambio (V-100) que va desde los 2,940 km² (aNDVI máximos) hasta los 478 km² en el segundo compuesto. Los efectos, tanto negativos como positivos, son equivalentes en las tres zonas de impacto

estudiadas, siendo en la V-100 donde se hace más evidente el impacto del fenómeno, por lo que los impactos del ciclón sobre la vegetación pueden ser considerados poco significativos (Figura 41).

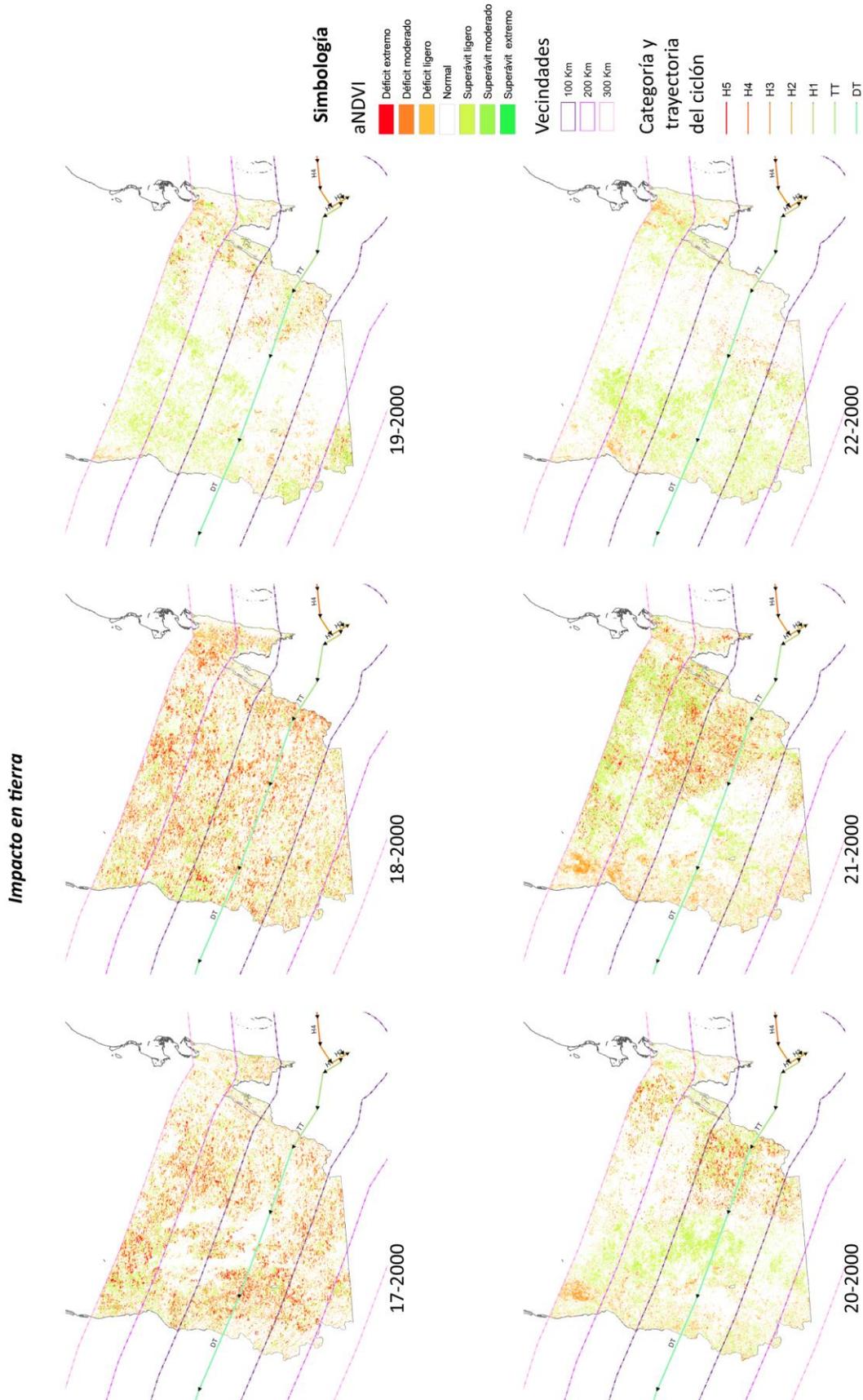


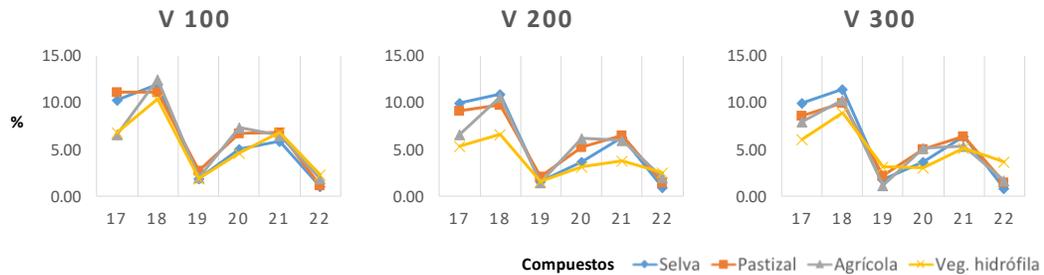
Figura 41: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán Keith por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 23. Por su parte, en la Figura 42, se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta 4 compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 18 (C-18).

Cuadro 23: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán Keith por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos						Compuestos						Compuestos					
	17	18	19	20	21	22	17	18	19	20	21	22	17	18	19	20	21	22
Selva	10.20	11.91	1.85	5.03	5.86	1.00	9.97	10.87	1.59	3.65	6.29	0.93	9.97	11.44	1.79	3.64	6.39	0.78
Pastizal	11.09	11.08	2.72	6.69	6.74	1.13	9.04	9.71	2.08	5.26	6.48	1.47	8.59	9.88	2.17	4.96	6.39	1.41
Agrícola	6.53	12.44	1.95	7.31	6.44	1.88	6.55	10.53	1.46	6.14	5.97	2.02	7.93	10.21	1.15	5.16	5.29	1.65
Veg. hidrófila	6.75	10.39	1.88	4.61	6.75	2.31	5.37	6.53	1.52	3.08	3.80	2.54	6.05	8.87	3.13	2.97	5.09	3.59

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 18



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 42: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán Keith por la PY.

Los tipos de vegetación más impactados corresponden a la selva y pastizales, siendo la vegetación hidrófila y agrícola, las que muestra el menor porcentaje de aNDVI extremos.

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los máximos valores registrados para la vegetación se selva, fueron del orden de 2,493.28 km² en la V-100; 4,504.19 km² en la V-200; y 6,422.95 km² en la V-300.

La recuperación de estado de vigor de la vegetación a valores de las aNDVI menores a las presentadas antes del impacto en tierra, se da en un lapso no mayor a dos (2) semanas (C-19).

Tormenta Tropical Chantal

Datos generales del ciclón

General	
Categoría máx.	TT
Fecha/hora [UTC] Inicio	14/08/2001 18:00
Fecha /hora [UTC] Fin	22/08/2001 06:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	111
Distancia recorrida [km]	6,103.02

Impacto en Tierra	
Categoría en Tierra	TT
Fecha /hora [UTC]	19/08/2001 06:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	102
Distancia recorrida [km]	276.27

Trayectoria y vecindades

Vecindad	Superficie	
	Km ²	%
V 100	27,447.32	21.69
V 200	50,545.86	39.94
V 300	66,699.65	52.71

Nota: Porcentajes con relación a la superficie total de la PFPY: 126,547.38 Km⁶

Simbología

Categoría y trayectoria del ciclón

- H5
- H4
- H3
- H2
- H1
- TT
- DT

Vecindades

- 100 Km
- 200 Km
- 300 Km

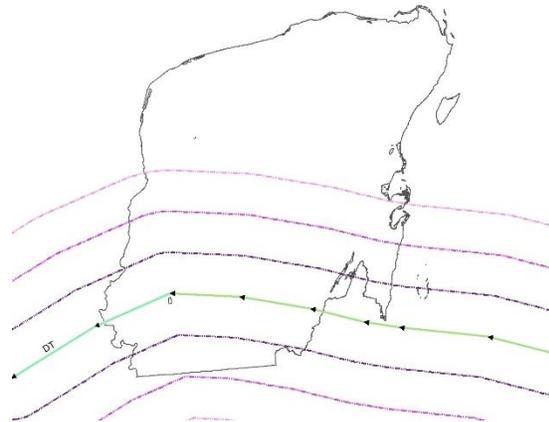


Figura 43: Trayectoria de la tormenta tropical Chantal y delimitación de las zonas de impacto (vecindades)

En el Cuadro 24 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 24: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto de la tormenta tropical Chantal

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	22,835.82	83.20	42,113.94	83.32	55,036.15	82.51
Pastizal	2,763.59	10.07	4,695.98	9.29	5,102.75	7.65
Agrícola	1,149.26	4.19	1,979.34	3.92	3,173.53	4.76
Vegetación hidrófila	438.62	1.60	1,312.31	2.60	2,778.83	4.17

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

La tormenta tropical *Chantal* fue el único fenómeno que impactó a la PY en el año 2001, presentando un impacto positivo poco significativo sobre la vegetación de la región. Los efectos en términos del aumento del porcentaje de las aNDVI clasificadas como déficit extremo y moderado, fueron pocos (menores a un 3% a los presentados en el compuesto anterior al impacto en tierra), los vientos máximos sostenidos registrados en tierra fueron del orden de los 102 km/h.

La mayor disminución de los valores extremos de las aNDVI se da entre una (1) y dos (2) semanas después de su paso por tierra (C-16). En el compuesto C-17, los valores de las aNDVI vuelven a incrementarse, para en el C-18, disminuir a calores cercanos a los considerados como normales y por debajo de los que existían antes del impacto del ciclón (C-14) Ver Figura 44.

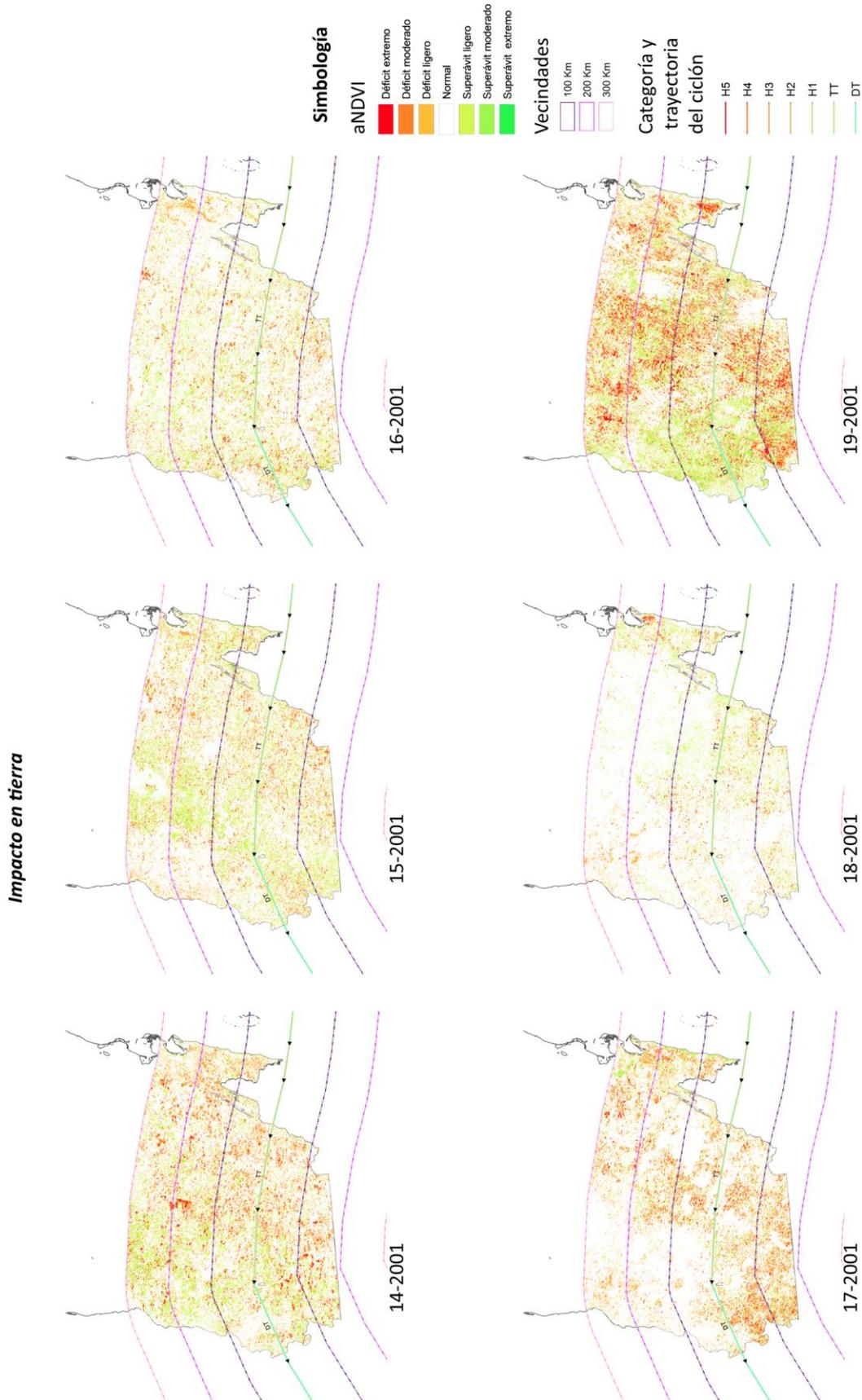


Figura 44: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso de la tormenta tropical Chantal por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 25. Por su parte, en la Figura 45, se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta cuatro (4) compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 15 (C-15).

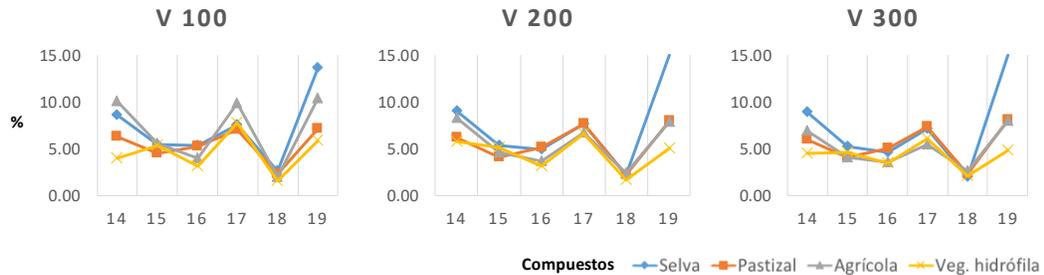
Cuadro 25: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical Chantal por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos					
	14	15	16	17	18	19
Selva	8.59	5.43	5.32	7.57	2.64	13.69
Pastizal	6.24	4.51	5.19	7.05	2.26	7.18
Agrícola	10.05	5.51	3.98	9.88	2.02	10.40
Veg. hidrófila	3.96	5.29	3.08	7.72	1.61	5.91

Tipos de vegetación	Compuestos					
	14	15	16	17	18	19
Selva	9.03	5.31	4.88	7.69	2.23	15.00
Pastizal	6.16	4.06	5.15	7.61	2.19	7.95
Agrícola	8.24	4.59	3.71	6.69	2.42	7.86
Veg. hidrófila	5.73	5.13	3.17	6.56	1.69	5.05

Tipos de vegetación	Compuestos					
	14	15	16	17	18	19
Selva	8.92	5.23	4.61	7.17	1.94	15.03
Pastizal	5.98	4.04	5.02	7.39	2.29	8.02
Agrícola	6.94	4.08	3.55	5.50	2.59	7.98
Veg. hidrófila	4.48	4.62	3.42	6.03	2.12	4.82

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 15



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 45: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical Chantal por la PY.

Los máximos valores registrados asociados a la tormenta tropical se presentan en el compuesto C-15, el cual corresponde al paso del meteoro por tierra. Los valores en términos de superficie afectada fueron del orden de 1,452.01 km² en la V-100; 2,585.70 km² en la V-200; y 3,340.44 km² en la V-300.

Alrededor de siete (7) a ocho (8) semanas posteriores al paso de la tormenta tropical, se dispararon los valores extremos de la aNDVI (C-19), este aumento no está relacionado con la tormenta tropical *Chantal* y la determinación de las causas que lo originan, queda fuera de los alcances del presente estudio.

Huracán Isidore

Datos generales del ciclón

General	
Categoría máx.	H3
Fecha/hora [UTC] Inicio	14/09/2002 18:00
Fecha /hora [UTC] Fin	27/09/2002 12:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	204
Distancia recorrida [km]	6,491.49

Impacto en Tierra	
Categoría en Tierra	H3
Fecha /hora [UTC]	21/09/2002 18:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	204
Distancia recorrida [km]	301.87

Trayectoria y vecindades

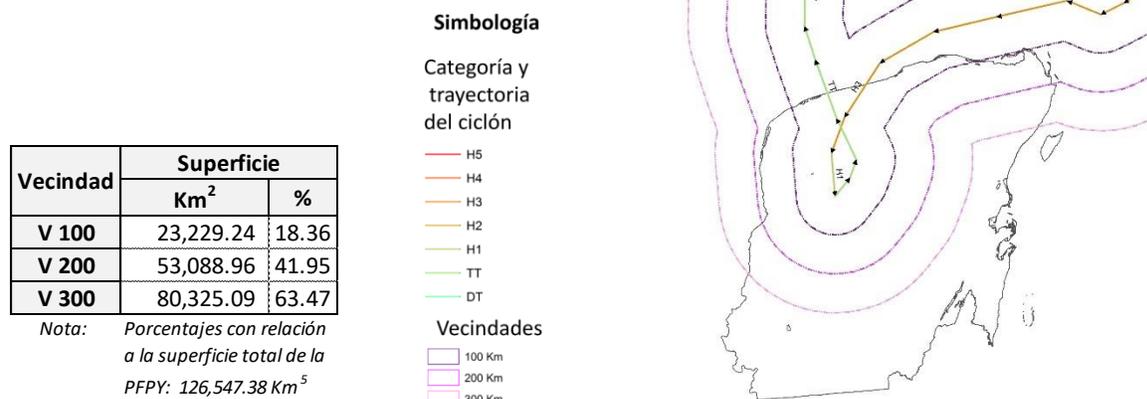


Figura 46: Trayectoria del huracán Isidore y delimitación de las zonas de impacto (vecindades)

En el Cuadro 26 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 26: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán Isidore

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	15,954.67	68.68	37,286.41	70.23	61,425.98	76.47
Pastizal	2,869.96	12.35	6,999.40	13.18	8,732.28	10.87
Agrícola	2,900.08	12.48	4,399.54	8.29	5,242.10	6.53
Vegetación hidrófila	632.13	2.72	3,004.32	5.66	3,182.51	3.96

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

El huracán *Isidore* fue el único fenómeno que impactó a la PY en el año 2002, presentando un impacto negativo intenso en la zona cercana a la trayectoria del mismo (V-100), el impacto sobre la vegetación de la región se debió al efecto concentrado de los vientos como respuesta a la trayectoria del ciclón, el cual entro a la PY con categoría de huracán 3, por la costa noroeste, avanzando tierra adentro aproximadamente 150 km, para posteriormente dar un giro en 180° y salir aproximadamente a 50 km al este del punto de ingreso. El ciclón impacta la PY con vientos máximos sostenidos registrados en tierra del orden de los 204 km/h.

Los valores extremos de las aNDVI, se presentan un compuesto posterior a la formación del ciclón (C-18), siendo la zona V-100, donde se presenta la máxima superficie afectada. Por lo que se refiere a la recuperación del estado de la vegetación, es hasta el compuesto 21 (C-21), donde los valores desciendo por debajo de los que se tenían antes de la presencia del fenómeno (Figura 47).

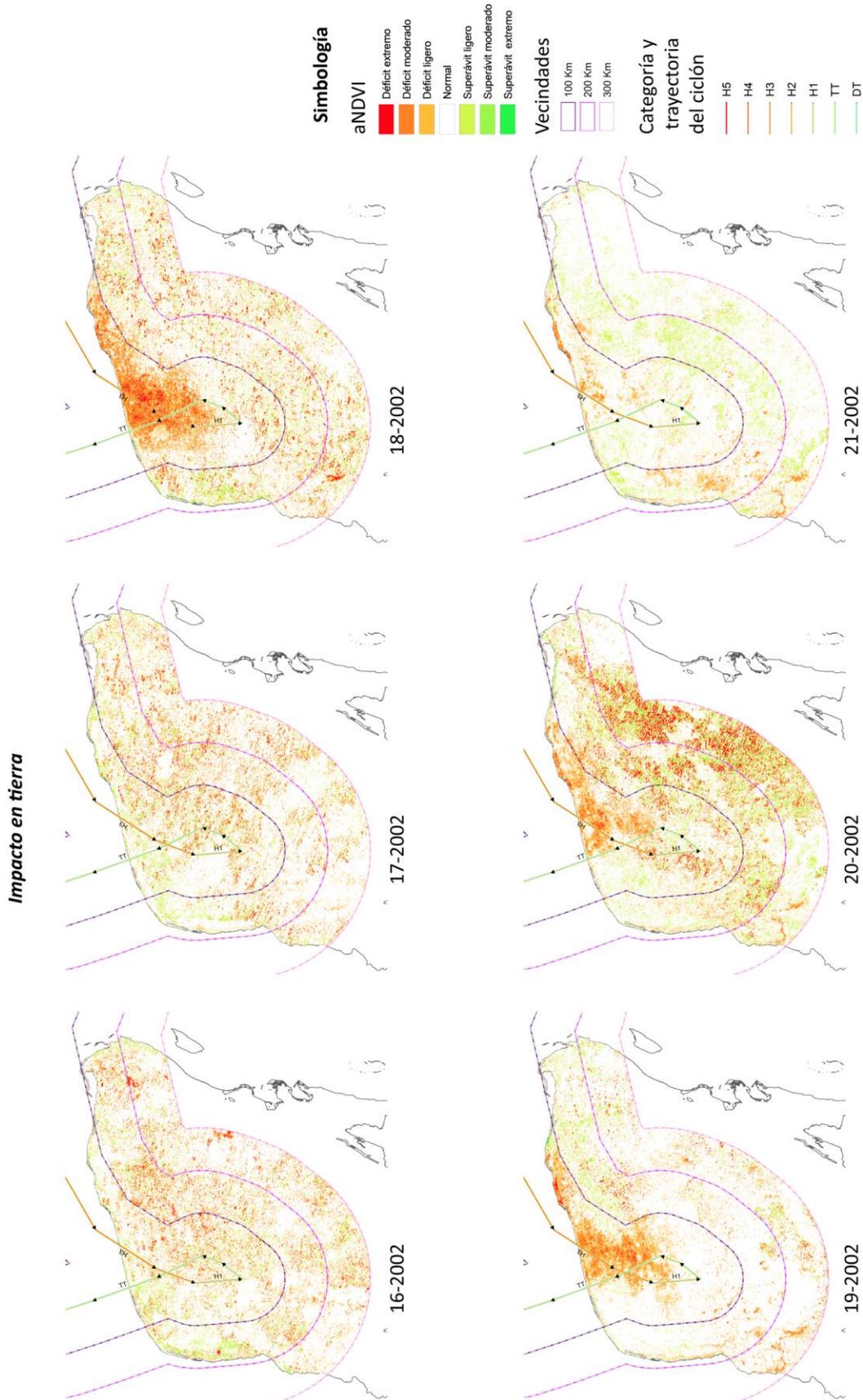


Figura 47: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán Isidore por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 27. Por su parte, en la Figura 48, se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta cuatro (4) compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 17 (C-17).

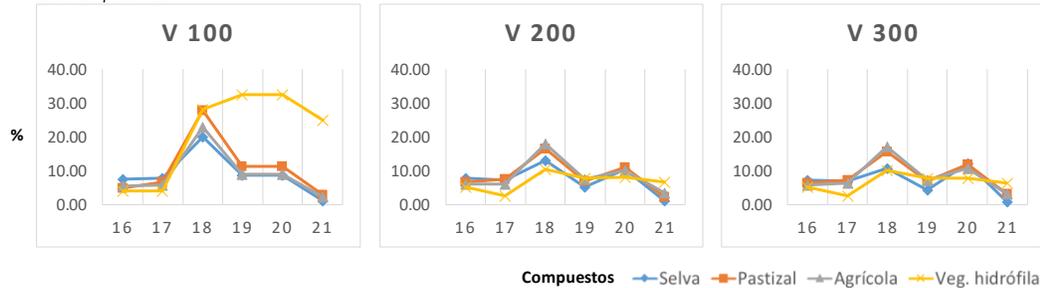
Cuadro 27: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán Isidore por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos					
	16	17	18	19	20	21
Selva	7.47	7.85	20.05	8.61	8.61	1.16
Pastizal	5.01	6.68	27.90	11.39	11.39	2.86
Agrícola	5.43	5.62	22.87	8.87	8.87	2.23
Veg. hidrófila	4.14	3.86	28.13	32.51	32.51	24.86

Compuestos						
16	17	18	19	20	21	
7.68	7.25	12.97	5.08	10.45	0.99	
6.58	7.52	16.60	6.77	11.13	2.36	
5.94	6.11	18.05	7.60	10.01	3.37	
5.19	2.55	10.36	7.91	7.97	6.48	

Compuestos						
16	17	18	19	20	21	
7.17	6.85	10.74	4.43	12.13	0.82	
6.27	7.28	15.70	6.96	11.74	3.14	
5.79	6.36	17.04	7.06	10.73	3.24	
5.12	2.52	10.08	7.84	7.78	6.38	

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 17



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 48: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán Isidore por la PY.

Los tipos de vegetación con los mayores valores de aNDVI corresponden a los pastizales y a la vegetación Hidrófila, esta última, fue también la que aun después de un periodo aproximado de entre ocho (8) y nueve (9) semanas, mantuvo valores extremos de las aNDVI.

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los máximos valores registrados para todos los tipos de vegetación estudiados fueron del orden de 4,841.27 Km² en la V-100; 7,103.12 Km² en la V-200; y 9,182.54 Km² en la V-300.

Tormenta Tropical Bill*Datos generales del ciclón*

General	
Categoría máx.	TT
Fecha/hora [UTC] Inicio	28/06/2003 06:00
Fecha /hora [UTC] Fin	02/07/2003 18:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	93
Distancia recorrida [km]	2,568.58

Impacto en Tierra	
Categoría en Tierra	DT
Fecha /hora [UTC]	30/06/2003 12:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	37
Distancia recorrida [km]	210.71

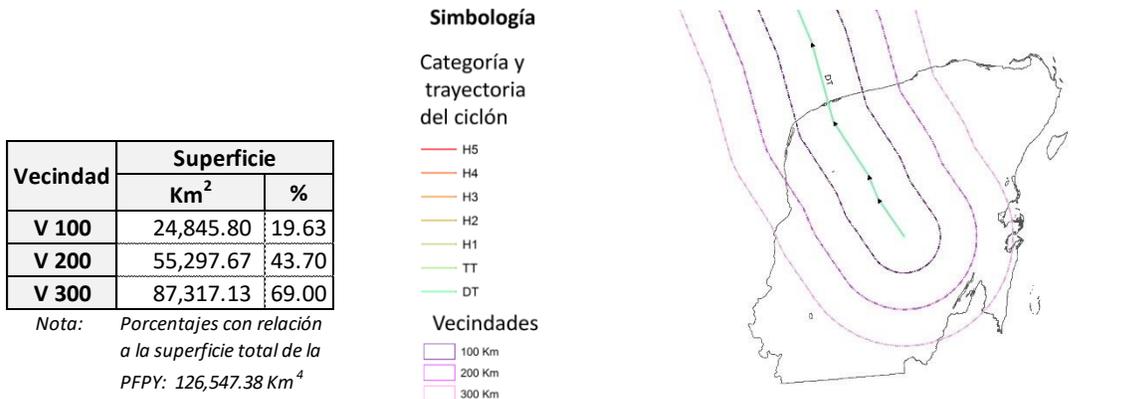
Trayectoria y vecindades

Figura 49: Trayectoria de la tormenta tropical Bill y delimitación de las zonas de impacto (vecindades)

En el Cuadro 28 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 28: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto de la tormenta tropical Bill

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	20,632.96	83.04	45,198.60	81.74	68,866.86	78.87
Pastizal	762.40	3.07	2,616.46	4.73	6,237.85	7.14
Agrícola	2,237.80	9.01	4,425.62	8.00	5,935.97	6.80
Vegetación hidrófila	554.31	2.23	1,934.98	3.50	4,700.26	5.38

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

La tormenta tropical *Bill* fue el primero de tres fenómenos que impactaron a la PY en el año 2003. Debido a que la base de datos del IRI, no reportó compuesto para el periodo inmediato posterior al paso de la TT, no fue posible cuantificar los valores extremos de las aNDVI en dicho periodo. De la información existente, se pudo observar que es en el compuesto donde se presenta el fenómeno, los valores extremos de aNDVI se concentran en una franja de 5 km de ancho, paralela a la costa. El ciclón cruza la PY con categoría de depresión tropical, con vientos máximos sostenidos registrados en tierra del orden de los 37 km/h.

El impacto sobre la vegetación se puede considerar como poco significativo, pues la diferencia de las aNDVI entre el compuesto anterior al impacto (C-11) y el compuesto que presenta los mayores valores (C-12), no es mayor a un 2% (Figura 50).

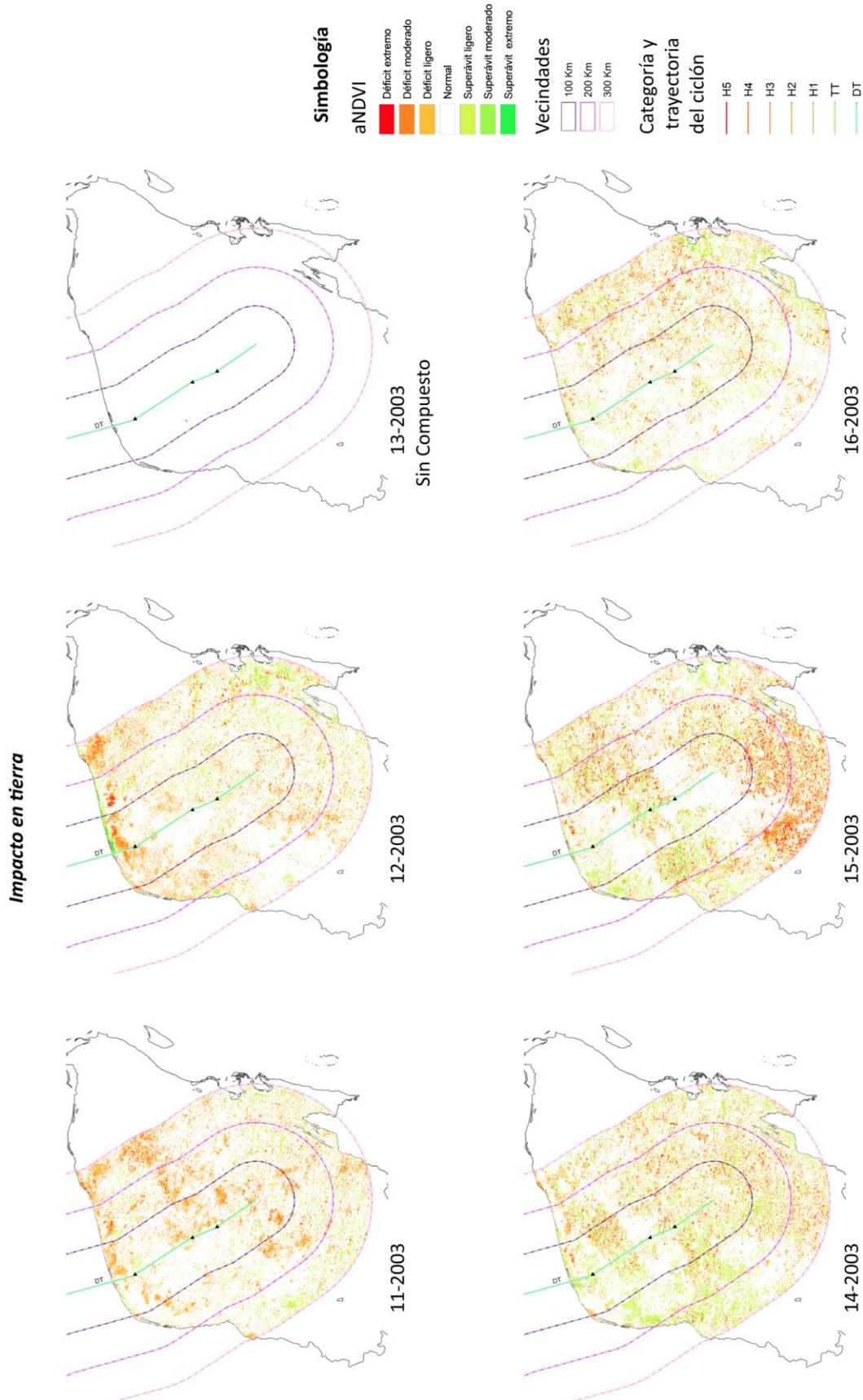


Figura 50: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso de la tormenta tropical Bill por la PY.

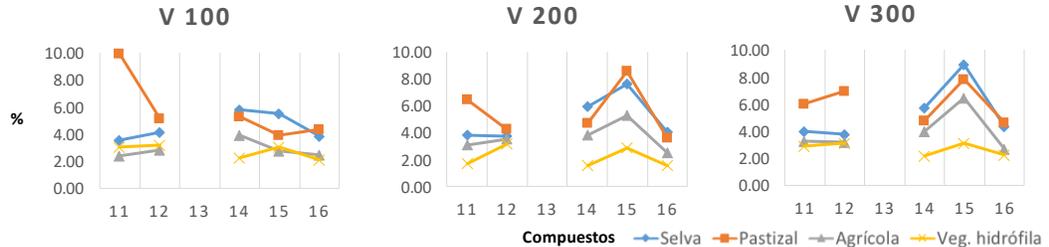
Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 29. Por su parte, en la Figura 51, se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta 4 compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 12 (C-12).

Por su parte, la vegetación mostro una recuperación en términos de los valores extremos de las aNDVI, en un periodo que no excede las tres (3) a cuatro (4) semanas después del paso de la tormenta por tierra (C-14).

Cuadro 29: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical Bill por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos						Compuestos						Compuestos					
	11	12	13	14	15	16	11	12	13	14	15	16	11	12	13	14	15	16
Selva	3.57	4.16		5.82	5.53	3.86	3.81	3.76		5.94	7.58	4.02	3.97	3.79		5.76	8.97	4.34
Pastizal	9.98	5.16		5.29	3.88	4.32	6.46	4.22		4.67	8.56	3.60	6.02	6.98		4.77	7.87	4.62
Agrícola	2.39	2.84		3.92	2.74	2.44	3.06	3.52		3.79	5.29	2.52	3.29	3.17		4.03	6.48	2.65
Veg. hidrófila	3.05	3.17		2.20	3.03	2.12	1.68	3.17		1.56	2.86	1.52	2.91	3.10		2.18	3.10	2.26

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 12



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 51: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical Bill por la PY.

Los tipos de vegetación con los mayores valores de aNDVI corresponden a las selvas y pastizales.

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los máximos valores registrados para todos los tipos de vegetación estudiados fueron del orden de 1,340.60 Km² en la V-100; 3,937.70 Km² en la V-200; y 7,197.12 Km² en la V-300.

Huracán Claudette

Datos generales del ciclón

General	
Categoría máx.	H1
Fecha/hora [UTC] Inicio	07/07/2003 00:00
Fecha /hora [UTC] Fin	17/07/2003 06:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	139
Distancia recorrida [km]	6,369.85

Impacto en Tierra	
Categoría en Tierra	TT
Fecha /hora [UTC]	15/07/2003 12:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	93
Distancia recorrida [km]	126.48

Trayectoria y vecindades

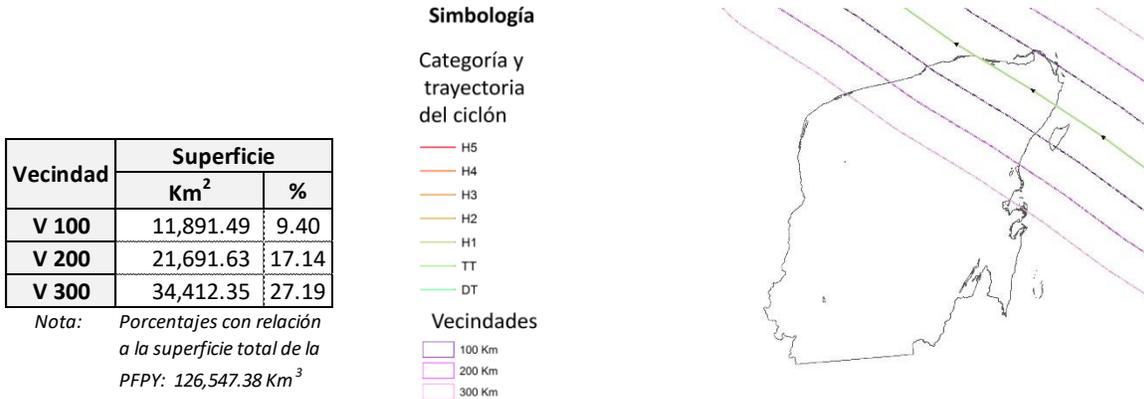


Figura 52: Trayectoria del huracán Claudette y delimitación de las zonas de impacto (vecindades)

En el Cuadro 30 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 30: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán Claudette

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	7,589.32	63.82	13,879.00	63.98	24,139.83	70.15
Pastizal	2,740.70	23.05	5,703.92	26.30	6,530.23	18.98
Agrícola	87.18	0.73	343.60	1.58	1,272.80	3.70
Vegetación hidrófila	940.04	7.91	1,117.44	5.15	1,571.07	4.57

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

El huracán *Claudette* fue el segundo de tres fenómenos que impactaron a la PY en el año 2003. Impacta a la PY dos semanas después del paso de la tormenta tropical *Bill*, la trayectoria del ciclón, cruza la PY por su extremo noreste, con categoría de tormenta tropical y vientos máximos sostenidos registrados en tierra del orden de los 93 km/h.

La base de datos del IRI, no reportó compuesto para el momento en que se presenta el fenómeno, por lo que no fue posible cuantificar los valores extremos de las aNDVI en dicho periodo. De la información existente, se pudo observar que los efectos sobre la vegetación a partir de la tercera semana posterior al paso de fenómeno por tierra son menores a los que existían antes de su formación. El impacto sobre la vegetación se puede considerar como negativo, poco significativo, pues la diferencia de las aNDVI entre el compuesto anterior al impacto (C-12) y el compuesto posterior al mismo (C-13) no son mayores a un 2%, salvo en el caso de la vegetación de tipo agrícola, la cual presenta un ligero incremento de los valores de las aNDVI extremas dentro de la zona de impacto (V-100), en el compuesto (C-14), los cuales, en un periodo no mayor a dos (2) semanas (C-15), adquieren valores cercanos a los considerados como normales (anomalías aNDVI) Ver Figura 53.

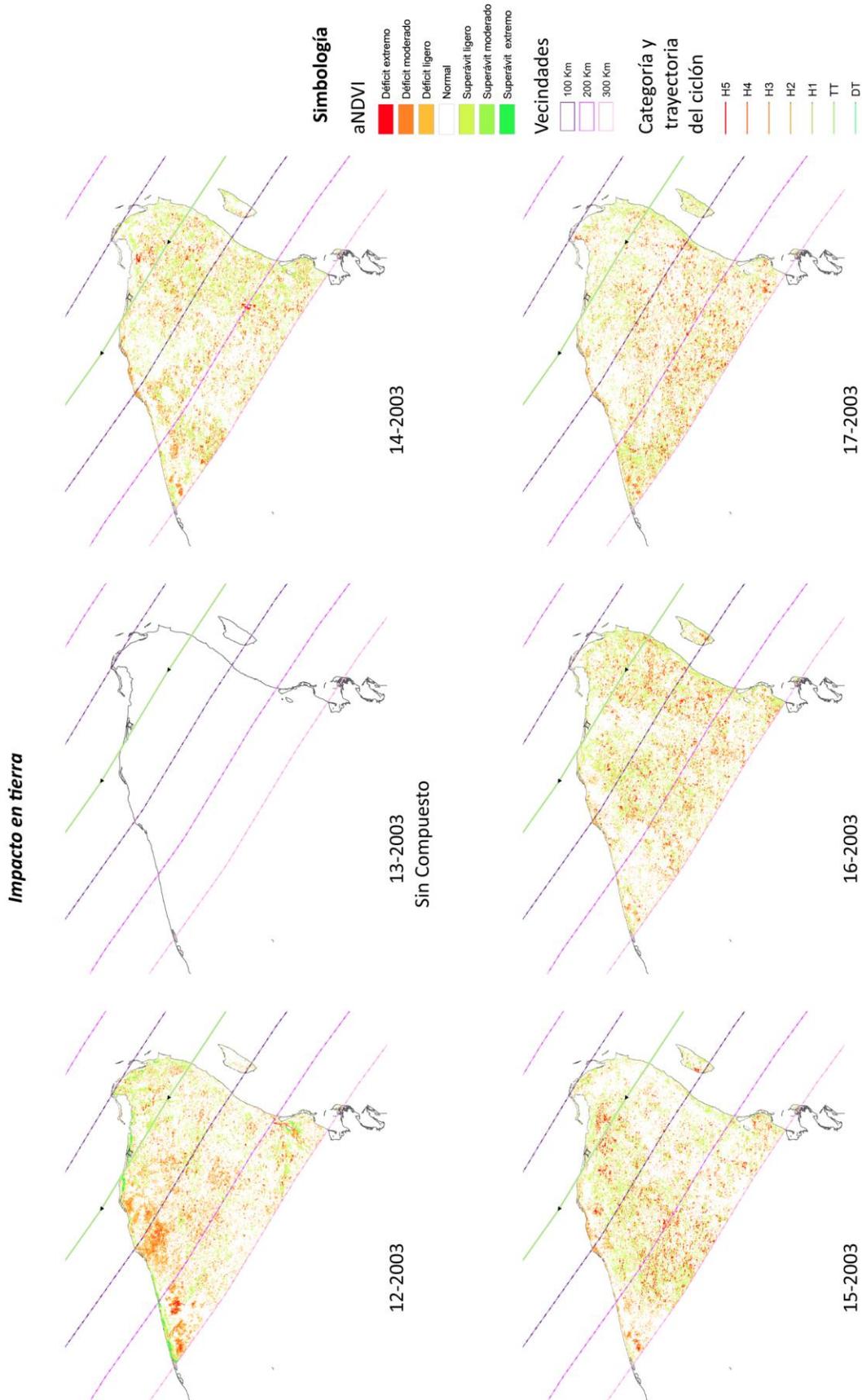


Figura 53: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán Claudette por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 31. Por su parte, en la Figura 54, se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta cuatro (4) compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 13 (C-13).

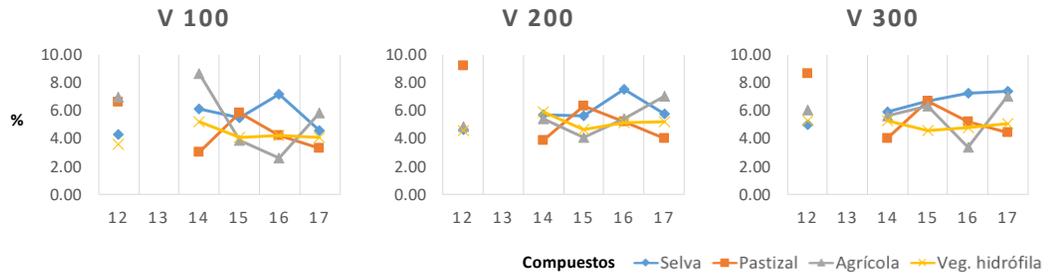
Cuadro 31: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán Claudette por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos					
	12	13	14	15	16	17
Selva	4.27	6.08	5.51	7.15	4.55	
Pastizal	6.62	3.02	5.80	4.20	3.29	
Agrícola	6.98	8.63	3.84	2.59	5.80	
Veg. hidrófila	3.60	5.18	4.11	4.23	4.10	

Tipos de vegetación	Compuestos					
	12	13	14	15	16	17
Selva	4.66	5.68	5.60	7.53	5.78	
Pastizal	9.19	3.85	6.33	5.23	3.99	
Agrícola	4.83	5.39	4.10	5.41	7.02	
Veg. hidrófila	4.54	5.90	4.64	5.16	5.23	

Tipos de vegetación	Compuestos					
	12	13	14	15	16	17
Selva	5.01	5.90	6.66	7.23	7.35	
Pastizal	8.66	4.03	6.67	5.21	4.40	
Agrícola	6.01	5.62	6.35	3.38	7.03	
Veg. hidrófila	5.29	5.26	4.60	4.80	5.08	

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 17



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 54: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán Claudette por la PY.

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los máximos valores registrados para todos los tipos de vegetación estudiados fueron del orden de 600.76 Km² en la V-100; 1,091.97 Km² en la V-200; y 1,841.01 Km² en la V-300.

Tormenta Tropical Larry*Datos generales del ciclón*

General	
Categoría máx.	TT
Fecha/hora [UTC] Inicio	27/09/2003 18:00
Fecha /hora [UTC] Fin	07/10/2003 12:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	102
Distancia recorrida [km]	1,804.30

Impacto en Tierra	
Categoría en Tierra	DT
Fecha /hora [UTC]	03/10/2003 00:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	37
Distancia recorrida [km]	303.85

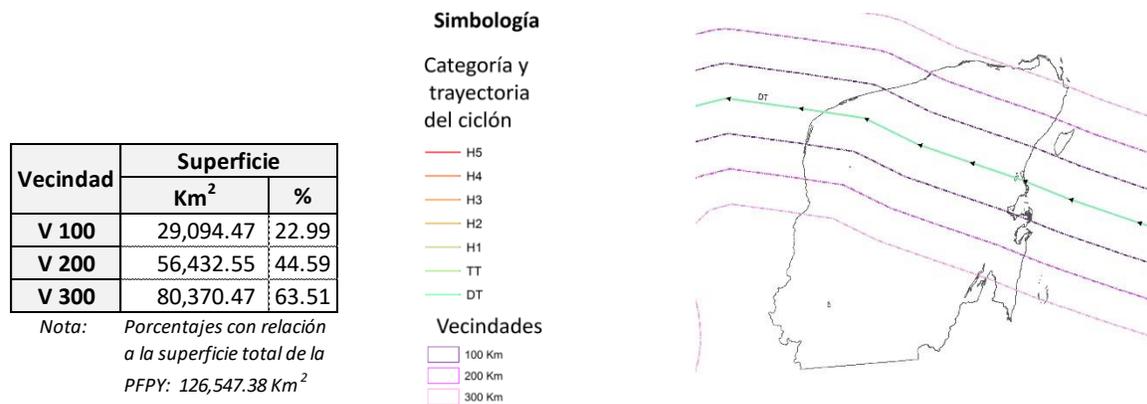
Trayectoria y vecindades

Figura 55: Trayectoria de la tormenta tropical Larry y delimitación de las zonas de impacto (vecindades)

En el Cuadro 32 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 32: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto de la tormenta tropical Larry

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	23,923.99	82.23	42,961.33	76.13	60,590.77	75.39
Pastizal	1,011.52	3.48	4,822.38	8.55	7,625.19	9.49
Agrícola	1,929.34	6.63	3,508.49	6.22	4,552.17	5.66
Vegetación hidrófila	1,417.31	4.87	3,837.55	6.80	5,694.11	7.08

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

La tormenta tropical *Larry* fue el tercer y último ciclón que impacto la PY en el año 2003.

La trayectoria del ciclón cruza la PY por la parte centro-norte, con una dirección de sureste a noroeste, con categoría de depresión tropical y vientos máximos sostenidos registrados en tierra del orden de los 37 km/h.

En el compuesto que corresponde al impacto del ciclón (C-18), los valores registrados de las aNDVI extremas, son constantes con los registrados en el compuesto previo (C-17). Aproximadamente dos (2) semanas después del paso del ciclón (C-19), los valores extremos de las aNDVI se reducen significativamente, alcanzado valores cercanos a los considerados como normales (anomalías aNDVI), por lo que se puede considerar que los efectos del meteoro son significativamente positivos (Figura 56).

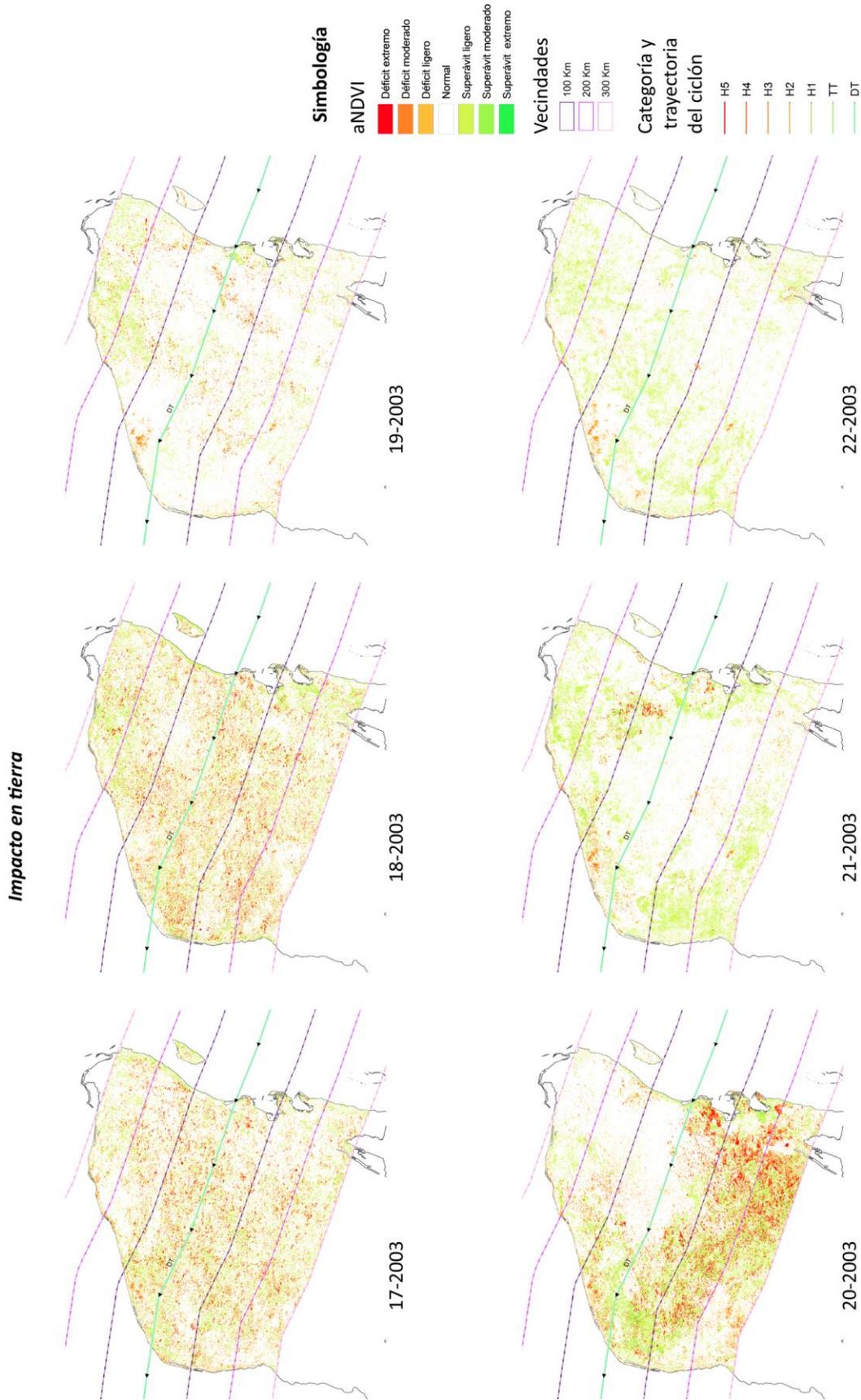


Figura 56: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso de la tormenta tropical Larry por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 33. Por su parte, en la Figura 57, se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta cuatro (4) compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 18 (C-18).

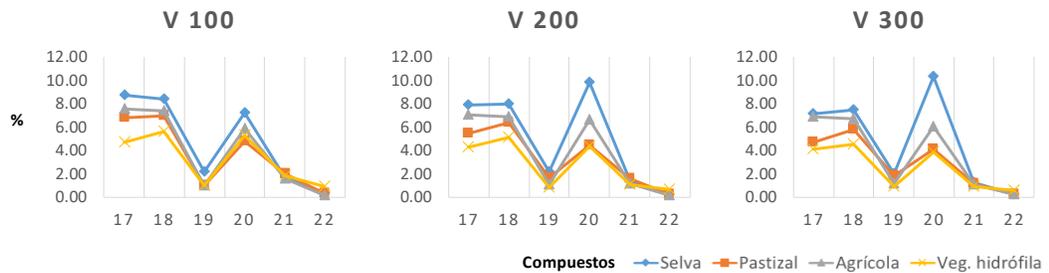
Cuadro 33: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical Larry por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos					
	17	18	19	20	21	22
Selva	8.69	8.34	2.16	7.21	1.61	0.32
Pastizal	6.79	6.94	0.97	4.79	1.97	0.26
Agrícola	7.56	7.33	1.00	5.83	1.61	0.14
Veg. hidrófila	4.71	5.57	0.97	5.24	1.83	0.88

Tipos de vegetación	Compuestos					
	17	18	19	20	21	22
Selva	7.85	7.94	2.13	9.84	1.43	0.24
Pastizal	5.41	6.35	1.64	4.40	1.54	0.20
Agrícola	7.05	6.84	1.04	6.58	1.17	0.13
Veg. hidrófila	4.28	5.07	0.78	4.33	1.07	0.62

Tipos de vegetación	Compuestos					
	17	18	19	20	21	22
Selva	7.09	7.46	2.00	10.36	1.26	0.26
Pastizal	4.64	5.76	1.82	4.08	1.15	0.25
Agrícola	6.91	6.74	1.13	6.07	1.03	0.19
Veg. hidrófila	4.06	4.54	0.88	3.87	0.90	0.60

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 18



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 57: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical Larry por la PY.

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los máximos valores registrados para todos los tipos de vegetación estudiados fueron del orden de 2,286.95 Km² en la V-100; 4,152.04 Km² en la V-200; y 5,523.27Km² en la V-300, equivalentes a los existentes antes del impacto del ciclón en tierra.

Huracán Cindy*Datos generales del ciclón***General**

Categoría máx.	H1
Fecha/hora [UTC] Inicio	03/07/2005 18:00
Fecha /hora [UTC] Fin	11/07/2005 00:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	120
Distancia recorrida [km]	4,948.72

Impacto en Tierra

Categoría en Tierra	DT
Fecha /hora [UTC]	06/07/2005 00:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	56
Distancia recorrida [km]	296.82

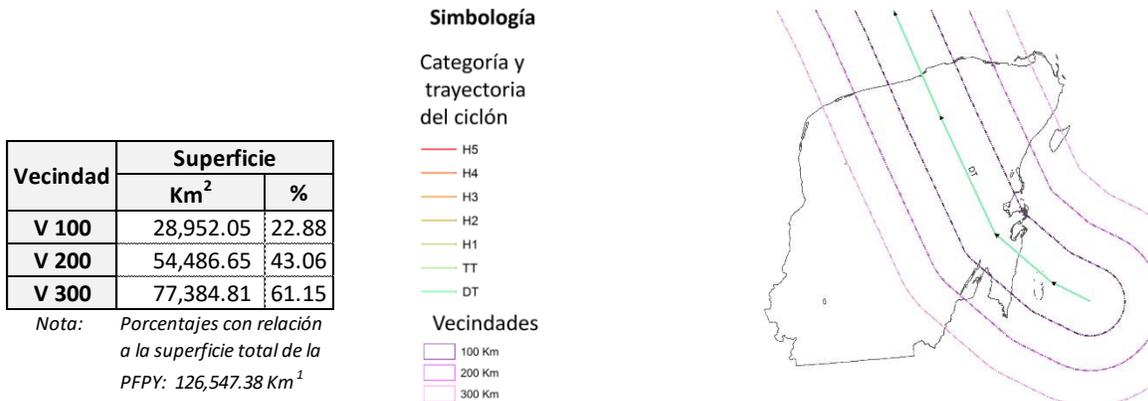
Trayectoria y vecindades

Figura 58: Trayectoria del huracán Cindy y delimitación de las zonas de impacto (vecindades)

En el

Cuadro 34 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 34: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán Cindy

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	20,976.90	72.45	40,731.82	74.76	59,503.12	76.89
Pastizal	4,114.67	14.21	7,147.69	13.12	8,063.59	10.42
Agrícola	762.53	2.63	2,090.51	3.84	4,072.27	5.26
Vegetación hidrófila	2,831.86	9.78	3,671.11	6.74	4,240.80	5.48

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

El año 2005 es considerado como el de mayor actividad ciclónica relacionada con la PY, pues es en él, cuando cuatro (4) de los ciclones de mayor intensidad impactan con tierra. El huracán *Cindy* fue el primero y menos intenso de los cuatro, su trayectoria atraviesa la PY desde el extremo sureste hasta el extremo noreste, con una categoría en tierra de depresión tropical y vientos máximos sostenidos registrados en tierra del orden de los 56 km/h.

Los mayores efectos del ciclón sobre la vegetación de la región se concentran hacia la V-200 en un periodo de entre una (1) y dos (2) semanas posteriores a su paso (C-13), alcanzando un incremento con relación al compuesto anterior al paso del ciclón por tierra del orden de 15%, por lo que se puede considerar que dicho fenómeno tuvo un impacto negativo significativo.

Por lo que a la recuperación de la vegetación se refiere, es en un lapso no mayor a dos (2) semanas (C-14) cuando los valores extremos de las aNDVI se reducen considerablemente, sin embargo, como se puede apreciar en la Figura 59, en el C-14, en torno a la superficie de la V-100 se vuelven a incrementar los valores de las aNDVI, esto se puede explicar cómo el efecto provocado por el huracán *Emily*, el cual impacta la PY, una semana después del paso de *Cindy*.

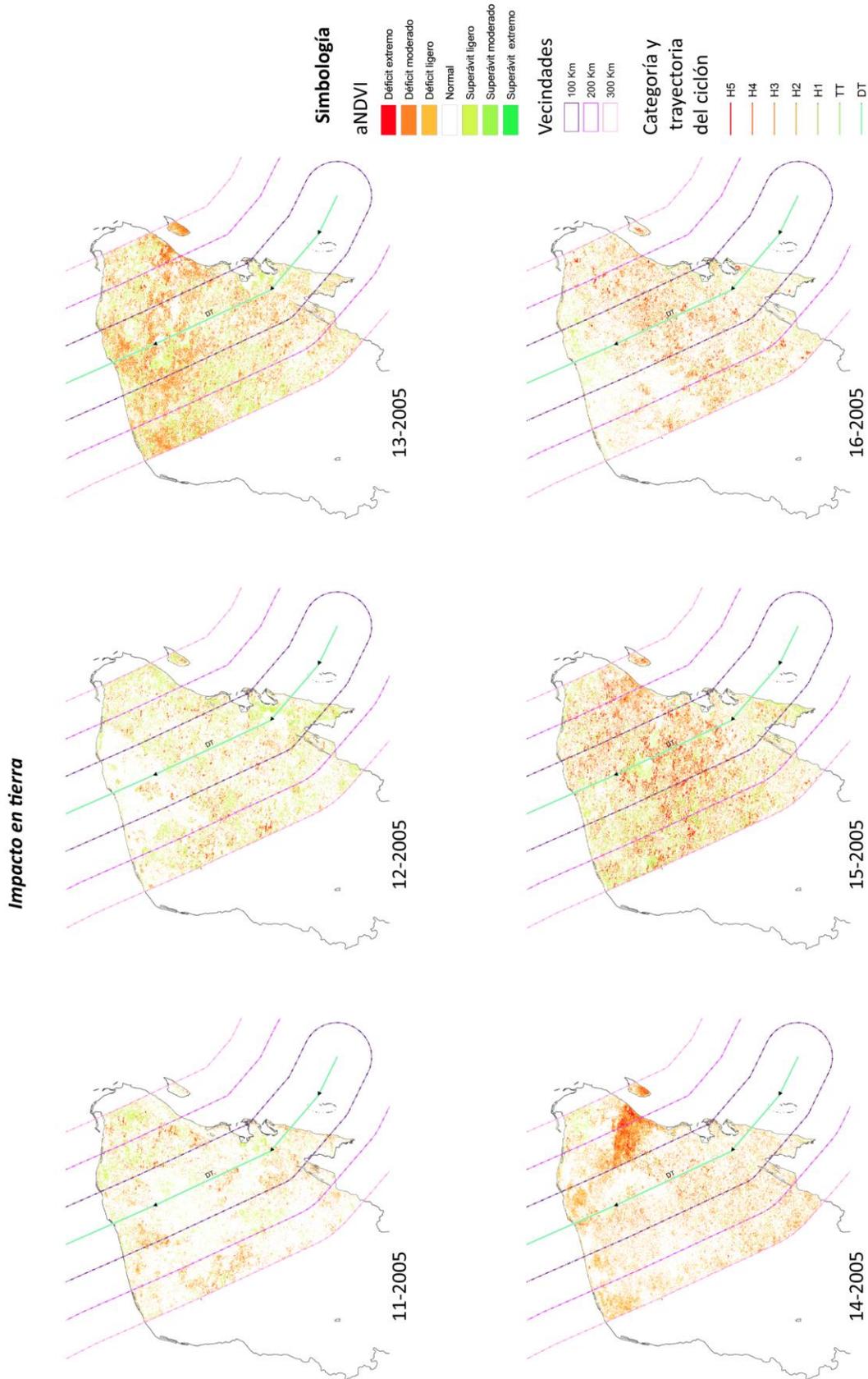


Figura 59: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán Cindy por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 35. Por su parte, en la Figura 60 se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta cuatro (4) compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 12 (C-12).

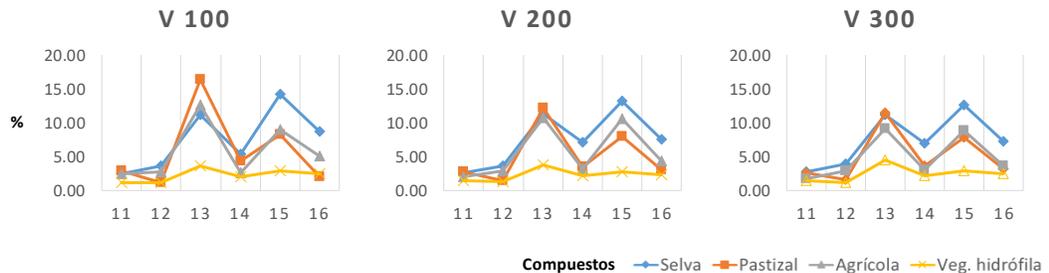
Cuadro 35: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán Cindy por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos					
	11	12	13	14	15	16
Selva	2.42	3.56	11.22	5.33	14.30	8.71
Pastizal	2.94	1.09	16.38	4.36	8.23	1.96
Agrícola	2.45	2.74	12.68	2.60	9.01	5.09
Veg. hidrófila	1.18	1.12	3.66	2.06	2.82	2.43

Tipos de vegetación	Compuestos					
	11	12	13	14	15	16
Selva	2.64	3.60	11.28	7.04	13.20	7.52
Pastizal	2.75	1.44	12.24	3.48	8.01	3.03
Agrícola	2.04	2.86	10.81	3.13	10.57	4.31
Veg. hidrófila	1.38	1.21	3.75	2.14	2.81	2.33

Tipos de vegetación	Compuestos					
	11	12	13	14	15	16
Selva	2.75	3.88	11.23	6.94	12.66	7.18
Pastizal	2.62	1.52	11.42	3.65	7.90	3.21
Agrícola	1.74	2.89	9.17	3.02	8.90	3.57
Veg. hidrófila	1.41	1.20	4.43	2.22	2.87	2.47

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 12



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 60: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán Cindy por la PY.

Destaca que el tipo de vegetación que menos impacto sufrió fue la de tipo hidrófila, la cual tuvo un incremento en los valores extremos de las aNDVI que no superaron el 3 con respecto al estado previo al impacto del ciclón con tierra.

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los máximos valores registrados para todos los tipos de vegetación estudiados fueron del orden de 3,228.92 Km² en la V-100; 5,831.44 Km² en la V-200; y 8,162.69 Km² en la V-300, equivalentes a los existentes antes del impacto del ciclón en tierra.

Huracán Stan

Datos generales del ciclón

General	
Categoría máx.	H1
Fecha/hora [UTC] Inicio	01/10/2005 12:00
Fecha /hora [UTC] Fin	05/10/2005 00:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	130
Distancia recorrida [km]	1,358.86

Impacto en Tierra	
Categoría en Tierra	TT
Fecha /hora [UTC]	04/10/2005 12:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	74
Distancia recorrida [km]	323.03

Trayectoria y vecindades

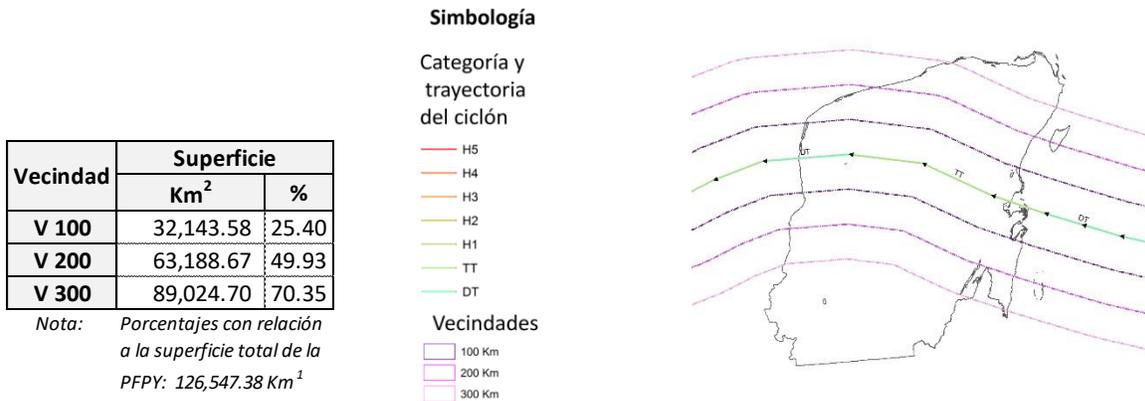


Figura 61: Trayectoria del huracán Stan y delimitación de las zonas de impacto (vecindades)

En el Cuadro 36 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 36: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán Stan

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	25,798.04	80.26	49,800.48	78.81	67,865.16	76.23
Pastizal	525.44	1.63	2,940.80	4.65	8,378.22	9.41
Agrícola	2,138.30	6.65	4,390.19	6.95	5,429.55	6.10
Vegetación hidrófila	3,078.81	9.58	4,689.00	7.42	5,663.46	6.36

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

El huracán *Stan* fue el tercer ciclón en impactar la PY en el 2005, su paso fue cuatro (4) meses después del huracán *Emily*, su trayectoria atraviesa la PY por la parte centro-norte, en dirección este-oeste, con una categoría en tierra de tormenta tropical y vientos máximos sostenidos registrados en tierra del orden de los 74 km/h.

El ciclón, no presentó un impacto negativo en la vegetación de la zona por la cual cruzó, por el contrario, los valores extremos de la aNDVI en un periodo entre dos (2) y tres (3) semanas desde su paso por tierra (C-19), presentaron una disminución significativa en relación a los valores del compuesto previos a su paso (C-17), por lo que el impacto del meteoro se puede considerar como positivo significativo (Figura 62).

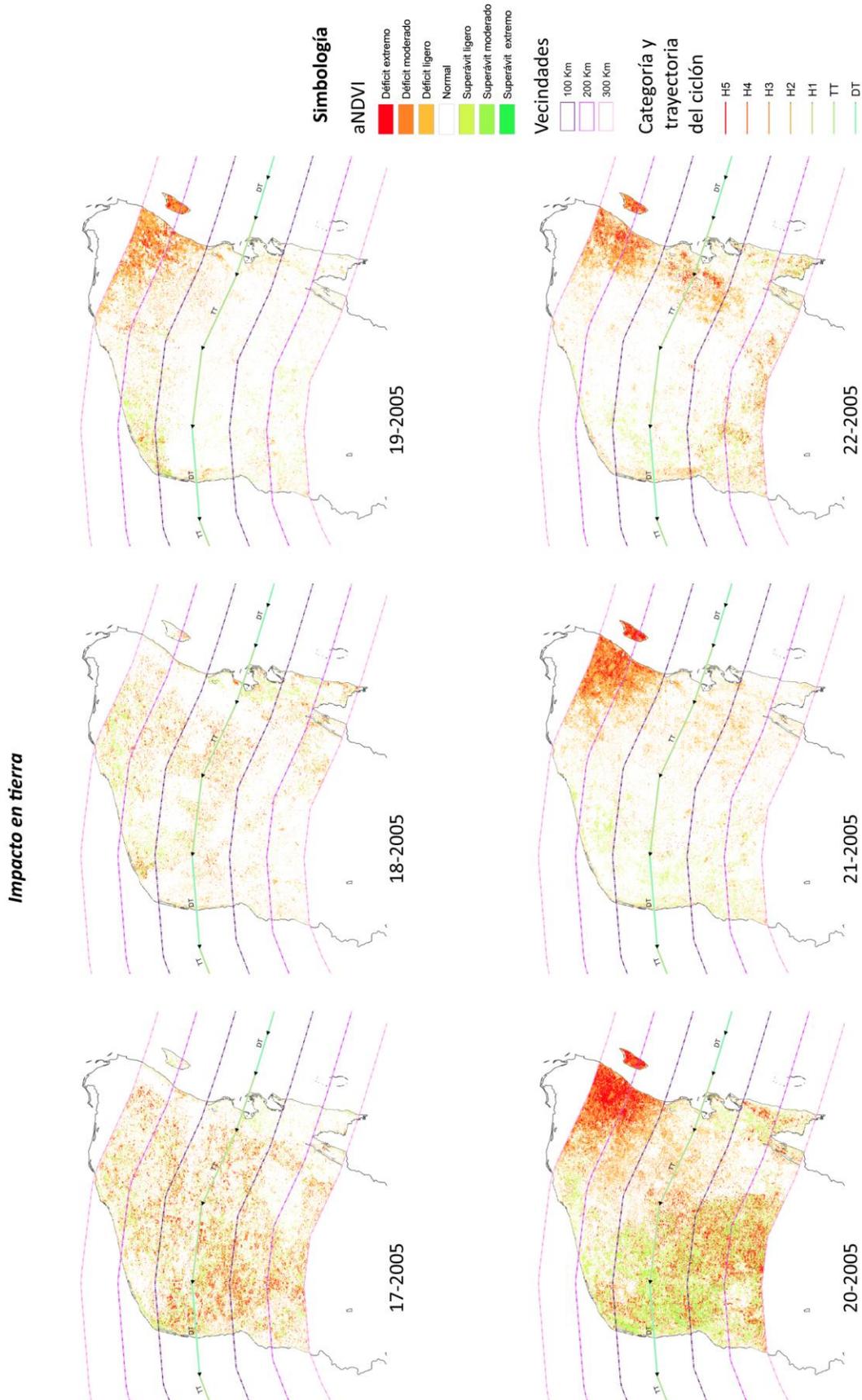


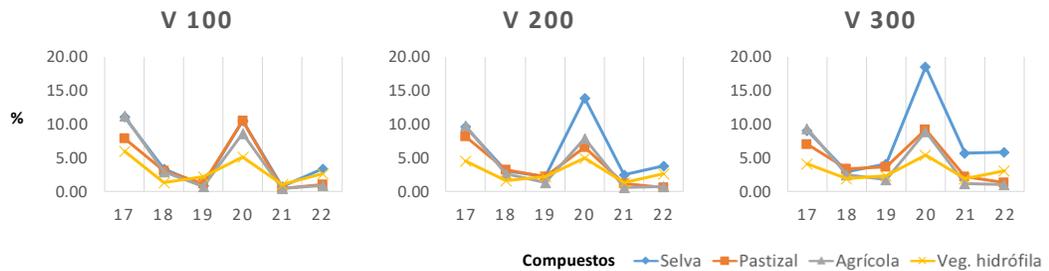
Figura 62: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán Stan por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 37. Por su parte, en la Figura 63 se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta cuatro (4) compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 18 (C-18).

Cuadro 37: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán Stan por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos						Compuestos						Compuestos					
	17	18	19	20	21	22	17	18	19	20	21	22	17	18	19	20	21	22
Selva	11.07	3.40	0.88	10.50	0.70	3.34	9.67	3.07	2.21	13.91	2.46	3.74	9.11	2.93	4.10	18.50	5.62	5.85
Pastizal	7.91	3.02	1.23	10.55	0.48	1.01	8.23	3.24	2.19	6.52	1.22	0.63	7.00	3.35	3.59	9.24	2.22	1.30
Agrícola	11.25	2.96	0.73	8.58	0.49	0.82	9.81	2.56	1.29	7.94	0.56	0.69	9.31	2.50	1.72	8.84	1.16	1.03
Veg. hidrófila	5.97	1.30	2.26	5.07	1.07	2.65	4.47	1.67	2.21	4.96	1.29	2.64	4.14	1.88	2.37	5.39	1.85	3.00

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 18



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 63: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán Stan por la PY.

Es hacia el C-20, cuando se observa un importante incremento en los valores extremos de las aNDVI, los cuales son resultado del impacto del huracán *Wilma*, el cual atraviesa la PY por la zona noreste catorce (14) días después del huracán *Stan*.

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los máximos valores registrados para todos los tipos de vegetación estudiados fueron del orden de 995.91 Km² en la V-100; 1,813.49 Km² en la V-200; y 2,510.02 Km² en la V-300, equivalentes a los existentes antes del impacto del ciclón en tierra.

Tormenta Tropical Olga*Datos generales del ciclón*

General	
Categoría máx.	TT
Fecha/hora [UTC] Inicio	10/12/2007 12:00
Fecha /hora [UTC] Fin	16/12/2007 00:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	93
Distancia recorrida [km]	3,469.79

Impacto en Tierra	
Categoría en Tierra	DT
Fecha /hora [UTC]	11/12/2007 18:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	56
Distancia recorrida [km]	63.49

Trayectoria y vecindades

Vecindad	Superficie	
	Km ²	%
V 100	6,354.44	5.02
V 200	14,310.69	11.31
V 300	24,540.04	19.39

Nota: Porcentajes con relación a la superficie total de la PFPY: 126,547.38 Km⁴

Simbología

Categoría y trayectoria del ciclón

- H5
- H4
- H3
- H2
- H1
- TT
- DT

Vecindades

- 100 Km
- 200 Km
- 300 Km

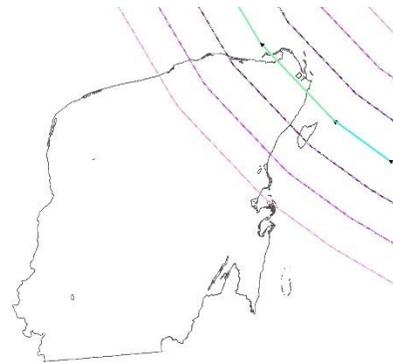


Figura 64: Trayectoria de la tormenta tropical Olga y delimitación de las zonas de impacto (vecindades)

En el Cuadro 38 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 38: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto de la tormenta tropical Olga

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	4,963.85	78.12	9,975.31	69.71	16,849.11	68.66
Pastizal	236.18	3.72	2,753.72	19.24	5,258.76	21.43
Agrícola	8.82	0.14	143.61	1.00	346.90	1.41
Vegetación hidrófila	704.68	11.09	874.38	6.11	1,410.03	5.75

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

La tormenta tropical *Olga* fue el segundo de los fenómenos que tocaron tierra en la PY en la temporada de huracanes 2007, su trayectoria cruzo por una pequeña franja en el extremo sureste de la península, a escasos 20 km de la costa, con una categoría en tierra de depresión tropical y vientos máximos sostenidos registrados en tierra del orden de los 56 km/h.

El fenómeno no presento un impacto negativo en la vegetación de la zona por la cual cruzó, por el contrario, los valores extremos de la aNDVI en un periodo entre una (1) y dos (2) semanas desde su paso por tierra (C-23), presentaron una disminución significativa en relación a los valores del compuesto previos a su paso (C-21), por lo que el impacto del meteoro se puede considerar como positivo significativo (Figura 65).



Figura 65: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso de la tormenta tropical Olga por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 39. Por su parte, en la Figura 66 se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta cuatro (4) compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 22 (C-22).

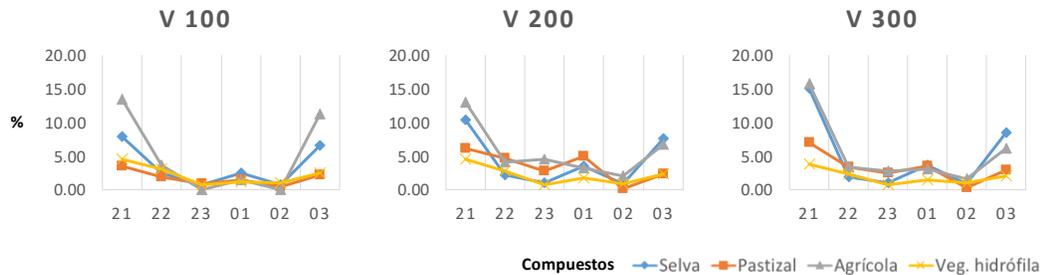
Cuadro 39: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical Olga por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos					
	21	22	23	01	02	03
Selva	7.87	2.52	0.71	2.55	0.72	6.60
Pastizal	3.58	1.90	0.91	1.56	0.48	2.27
Agrícola	13.53	3.76	0.00	1.50	0.00	11.28
Veg. hidrófila	4.58	3.16	0.83	1.19	1.10	2.48

Tipos de vegetación	Compuestos					
	21	22	23	01	02	03
Selva	10.43	2.19	1.06	3.62	0.89	7.57
Pastizal	6.23	4.78	2.81	5.00	0.23	2.35
Agrícola	13.01	4.13	4.60	3.29	2.07	6.76
Veg. hidrófila	4.61	2.88	0.82	1.77	0.98	2.44

Tipos de vegetación	Compuestos					
	21	22	23	01	02	03
Selva	15.14	1.96	1.02	3.70	0.99	8.48
Pastizal	7.03	3.45	2.55	3.56	0.34	2.98
Agrícola	15.83	3.35	2.75	3.08	1.60	6.20
Veg. hidrófila	3.87	2.40	0.79	1.48	1.02	2.13

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 22



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 66: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical Olga por la PY.

Es hacia el C-23, cuando se observa una importante disminución en los valores extremos de las aNDVI, alcanzando prácticamente los valores considerados como normales (anomalías aNDVI).

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los máximos valores registrados para todos los tipos de vegetación estudiados fueron del orden de 152.33 Km² en la V-100; 380.84 Km² en la V-200; y 556.74 Km² en la V-300, equivalentes a los existentes antes del impacto del ciclón en tierra.

Tormenta Tropical Arthur

Datos generales del ciclón

General	
Categoría máx.	TT
Fecha/hora [UTC] Inicio	31/05/2008 00:00
Fecha /hora [UTC] Fin	01/06/2008 18:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	74
Distancia recorrida [km]	419.81

Impacto en Tierra	
Categoría en Tierra	TT
Fecha /hora [UTC]	31/05/2008 06:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	65
Distancia recorrida [km]	231.52

Trayectoria y vecindades

Vecindad	Superficie	
	Km ²	%
V 100	19,579.41	15.47
V 200	36,502.80	28.85
V 300	54,283.15	42.90

Nota: Porcentajes con relación a la superficie total de la PFPY: 126,547.38 Km⁵

Simbología

Categoría y trayectoria del ciclón

- H5
- H4
- H3
- H2
- H1
- TT
- DT

Vecindades

- 100 Km
- 200 Km
- 300 Km

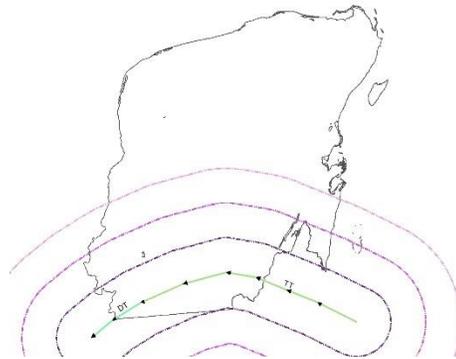


Figura 67: Trayectoria de la tormenta tropical Arthur y delimitación de las zonas de impacto (vecindades)

En el Cuadro 40 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 40: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto de la tormenta tropical Arthur

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	16,879.03	86.21	31,131.17	85.28	45,841.17	84.45
Pastizal	1,351.05	6.90	3,092.27	8.47	4,516.80	8.32
Agrícola	1,026.15	5.24	1,248.62	3.42	1,801.83	3.32
Vegetación hidrófila	161.96	0.83	670.89	1.84	1,670.04	3.08

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

La tormenta tropical *Arthur* fue el primero de dos ciclones que tocaron tierra en la PY en la temporada de huracanes 2008, su trayectoria cruzo por una pequeña franja en el extremo sur de la PY, a una distancia máxima de 50 km de la frontera con Belice. El paso por tierra fue con una categoría de tormenta tropical y vientos máximos sostenidos registrados en tierra del orden de los 65 km/h.

El máximo incremento de los valores extremos de las aNDVI, se presentaron en el mismo compuesto donde se presenta el fenómeno (C-10), con un incremento aproximado del 12% con respecto al estado previo, por lo que se puede considerar como un impacto poco significativo (Figura 68).

Es en un lapso de una (1) a dos (2) semanas cuando los valores de las aNDVI presentan una disminución, sin que estos lleguen a alcanzar los valores que se tenían antes del impacto del ciclón.

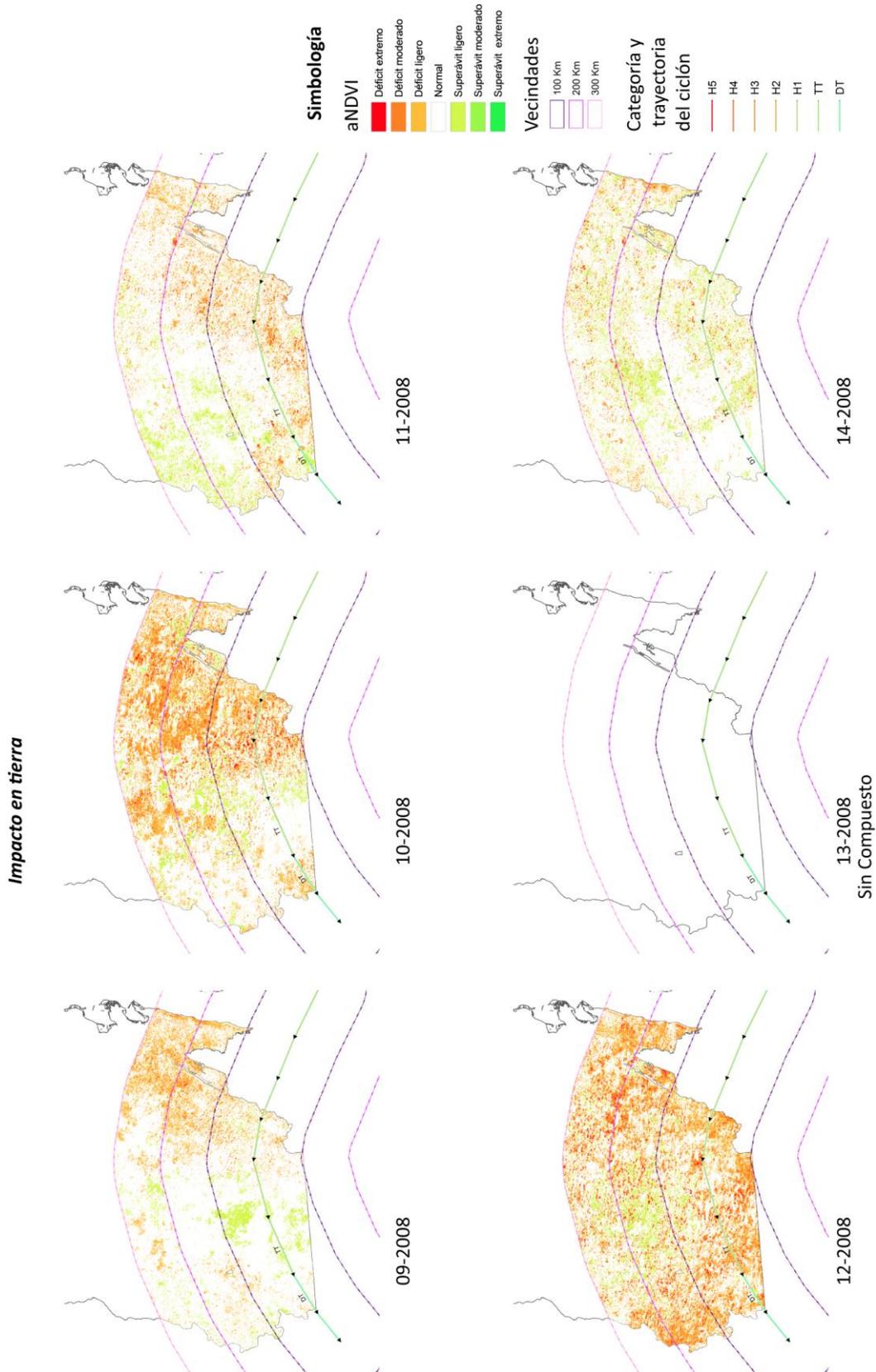


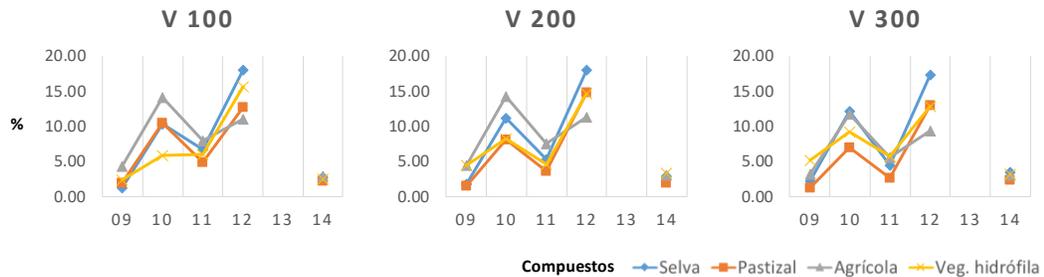
Figura 68: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso de la tormenta tropical Arthur por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 41. Por su parte, en la Figura 69 se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta 4 compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 10 (C-10).

Cuadro 41: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical Arthur por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos						Compuestos						Compuestos					
	09	10	11	12	13	14	09	10	11	12	13	14	09	10	11	12	13	14
Selva	1.26	10.33	6.71	17.97		2.76	1.82	11.21	5.24	18.07		2.89	2.20	12.20	4.40	17.27		3.39
Pastizal	1.94	10.50	4.82	12.65		2.16	1.53	8.12	3.54	14.79		1.88	1.23	7.01	2.64	12.98		2.26
Agrícola	4.26	14.03	7.94	10.99		2.87	4.37	14.24	7.53	11.28		2.96	3.11	11.73	5.48	9.30		3.01
Veg. hidrófila	2.34	5.78	5.99	15.68		2.51	4.46	8.26	4.56	14.58		3.37	5.16	9.25	5.62	12.89		3.14

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 10



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 69: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical Arthur por la PY.

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los máximos valores registrados para todos los tipos de vegetación estudiados fueron del orden de 2,038.16 Km² en la V-100; 3,975.47 Km² en la V-200; y 6,272.82 Km² en la V-300, equivalentes a los existentes antes del impacto del ciclón en tierra.

Huracán Dolly*Datos generales del ciclón***General**

Categoría máx.	H2
Fecha/hora [UTC] Inicio	20/07/2008 12:00
Fecha /hora [UTC] Fin	26/07/2008 18:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	157
Distancia recorrida [km]	3,026.07

Impacto en Tierra

Categoría en Tierra	TT
Fecha /hora [UTC]	23/07/2008 12:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	83
Distancia recorrida [km]	175.76

Trayectoria y vecindades

Vecindad	Superficie	
	Km ²	%
V 100	15,978.60	12.63
V 200	28,432.07	22.47
V 300	43,371.64	34.27

Nota: Porcentajes con relación a la superficie total de la PFPY: 126,547.38 Km⁶

Simbología**Categoría y trayectoria del ciclón**

- H5
- H4
- H3
- H2
- H1
- TT
- DT

Vecindades

- 100 Km
- 200 Km
- 300 Km

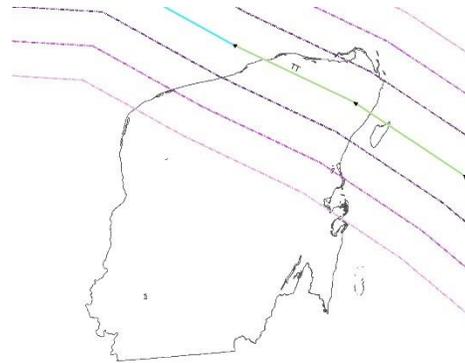


Figura 70: Trayectoria del huracán Dolly y delimitación de las zonas de impacto (vecindades)

En el Cuadro 42 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 42: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán Dolly

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	9,813.47	61.42	18,833.84	66.24	31,448.02	72.51
Pastizal	4,670.29	29.23	6,450.48	22.69	6,597.84	15.21
Agrícola	172.46	1.08	1,024.80	3.60	1,888.54	4.35
Vegetación hidrófila	809.69	5.07	1,305.57	4.59	2,076.74	4.79

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

El huracán *Dolly* fue el segundo ciclón en tocaron tierra en el año 2008, su trayectoria cruzo la PY en su extremo noreste, con categoría de tormenta tropical y vientos máximos sostenidos registrados en tierra del orden de los 83 km/h.

Dado que la base de datos del IRI, no reportó compuesto para la fecha en que el fenómeno se presentó (C-13), no es posible identificar el tipo de impacto sobre la vegetación en dicho periodo, sin embargo, del análisis de los resultados obtenidos en los compuestos previo (C-12) y posterior (C-14), destaca la disminución de los valores extremos de las aNDVI en el orden del 3%, lo que se puede considerar como un impacto positivo poco significativo. (Figura 71).

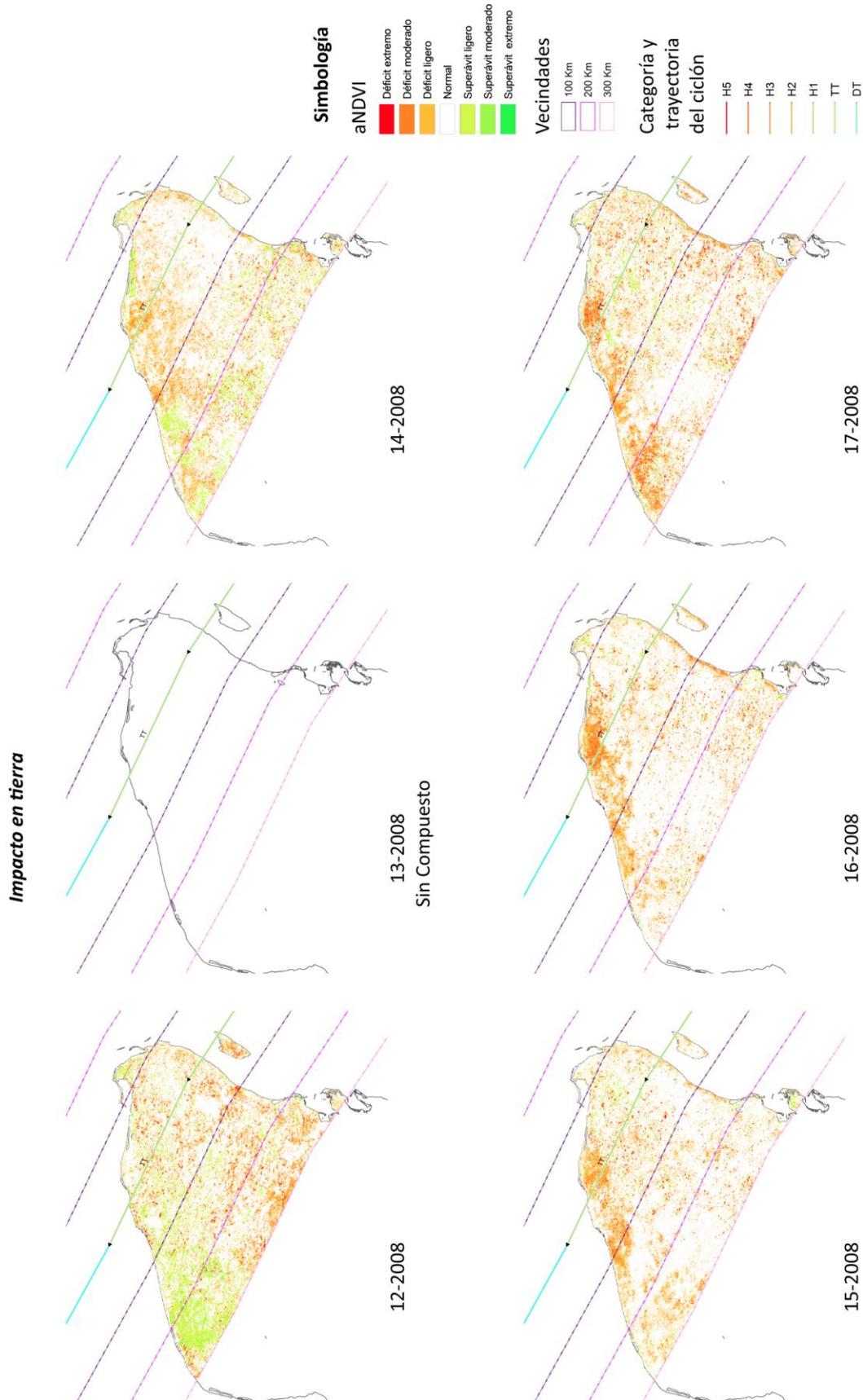


Figura 71: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán Dolly por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 43. Por su parte, en la Figura 72 se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta cuatro (4) compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 13 (C-13).

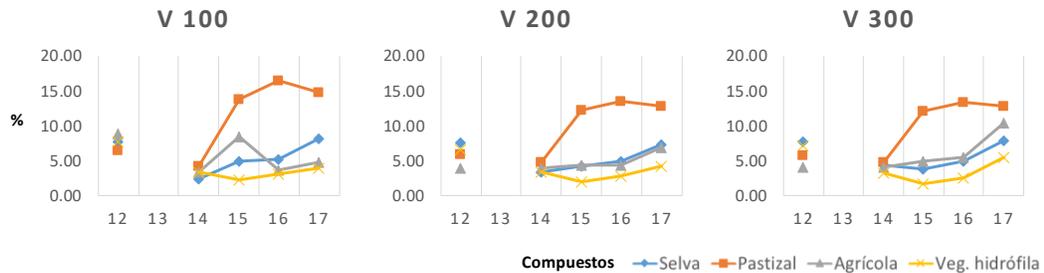
Cuadro 43: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán Dolly por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos					
	12	13	14	15	16	17
Selva	7.75	2.39	4.94	5.26	8.15	
Pastizal	6.51	4.24	13.75	16.46	14.74	
Agrícola	8.93	3.37	8.50	3.64	4.86	
Veg. hidrófila	7.73	3.40	2.25	3.14	3.95	

Tipos de vegetación	Compuestos					
	12	13	14	15	16	17
Selva	7.59	3.42	4.24	4.94	7.37	
Pastizal	5.88	4.78	12.30	13.59	12.85	
Agrícola	4.03	3.91	4.43	4.46	6.99	
Veg. hidrófila	6.69	3.47	1.96	2.88	4.21	

Tipos de vegetación	Compuestos					
	12	13	14	15	16	17
Selva	7.75	4.36	3.80	4.95	7.92	
Pastizal	5.84	4.77	12.10	13.40	12.82	
Agrícola	4.09	4.14	4.97	5.48	10.48	
Veg. hidrófila	7.27	3.32	1.68	2.55	5.46	

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 13



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 72: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán Dolly por la PY.

A partir del C-15, se presenta un aumento en los valores de las aNDVI, principalmente para el caso de los pastizales.

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los máximos valores registrados para todos los tipos de vegetación estudiados fueron del orden de 465.62 Km² en la V-100; 1,037.49 Km² en la V-200; y 1,833.24 Km² en la V-300, equivalentes a los existentes antes del impacto del ciclón en tierra.

Huracán Alex*Datos generales del ciclón***General**

Categoría máx.	H2
Fecha/hora [UTC] Inicio	24/06/2010 18:00
Fecha /hora [UTC] Fin	01/07/2010 18:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	167
Distancia recorrida [km]	2,485.80

Impacto en Tierra

Categoría en Tierra	TT
Fecha /hora [UTC]	01/07/2010 00:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	102
Distancia recorrida [km]	212.34

Trayectoria y vecindades

Vecindad	Superficie	
	Km ²	%
V 100	22,603.68	17.86
V 200	40,803.84	32.24
V 300	58,335.27	46.10

Nota: Porcentajes con relación a la superficie total de la PFPY: 126,547.38 Km²

Simbología**Categoría y trayectoria del ciclón**

- H5
- H4
- H3
- H2
- H1
- TT
- DT

Vecindades

- 100 Km
- 200 Km
- 300 Km

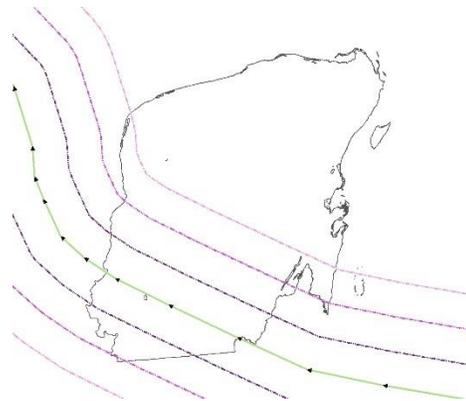


Figura 73: Trayectoria del huracán Alex y delimitación de las zonas de impacto (vecindades)

En el Cuadro 44 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 44: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán Alex

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	19,387.87	85.77	34,102.88	83.58	47,292.67	81.07
Pastizal	2,284.92	10.11	4,188.82	10.27	4,985.67	8.55
Agrícola	695.55	3.08	1,848.04	4.53	2,906.93	4.98
Vegetación hidrófila	117.65	0.52	323.47	0.79	2,417.88	4.14

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

Huracán *Alex* primero de tres ciclones en tocar tierra en el año 2010, su trayectoria cruzo la PY en su extremo sur, disminuyendo su intensidad a categoría de tormenta tropical, con vientos máximos sostenidos registrados en tierra del orden de los 102 km/h.

Los máximos efectos provocados por la lluvia y viento se extendieron en una superficie cercana al 50% de la PY, siendo en la V-300 donde se estimó los mayores porcentajes de cobertura de las aNDVI extremas en un periodo de entre 1 y 2 semanas posterior al paso por tierra del cicló (C-13), con excepción de la vegetación de tipo selva, cuyo máximo impacto se registra hacia el compuesto C-14 (tres a cuatro semanas posteriores al paso del ciclón). Los valores de las aNDVI extremos presentaron un aumento de un 5% como máximo (Figura 74).

Una ligera recuperación de la vegetación se da hacia los compuesto C-14 y C-15, sin que esto representen un retorno a valores similares a los que se tenían antes de la aparición de fenómeno.

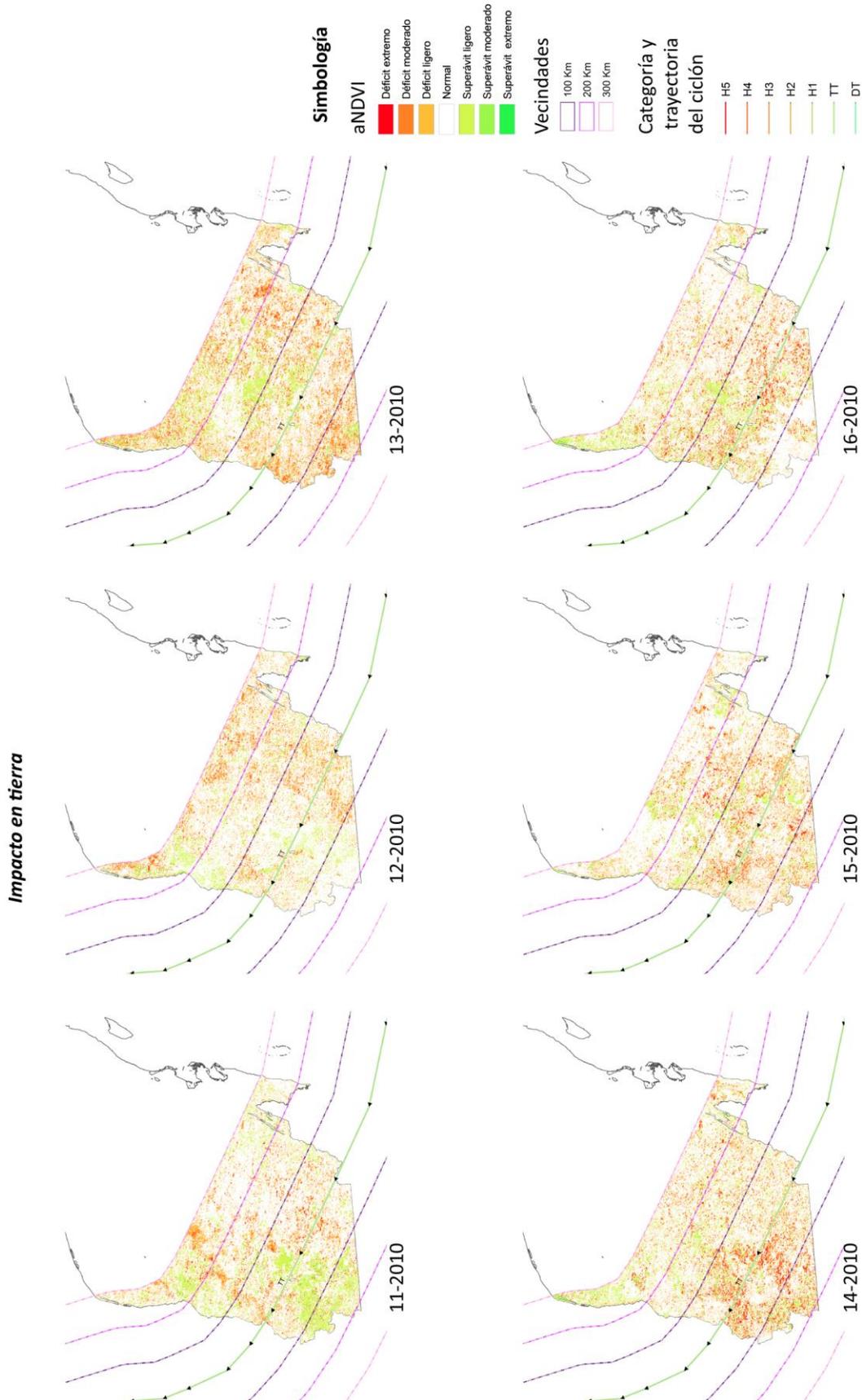


Figura 74: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán Alex por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 45. Por su parte, en la Figura 75 se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta cuatro (4) compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 12 (C-12).

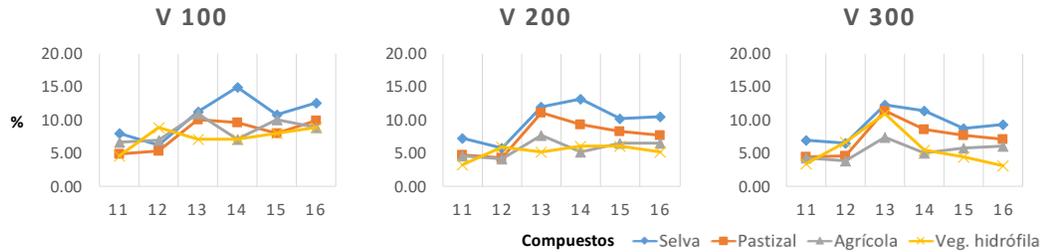
Cuadro 45: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán Alex por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos					
	11	12	13	14	15	16
Selva	7.93	6.22	11.27	14.99	10.83	12.53
Pastizal	4.83	5.34	10.12	9.67	7.93	9.89
Agrícola	6.69	6.88	10.98	7.04	10.11	8.88
Veg. hidrófila	4.59	8.88	7.06	7.06	7.94	8.88

Tipos de vegetación	Compuestos					
	11	12	13	14	15	16
Selva	7.32	5.75	11.99	13.12	10.17	10.53
Pastizal	4.67	4.25	11.03	9.33	8.22	7.74
Agrícola	4.64	4.21	7.75	5.20	6.58	6.58
Veg. hidrófila	3.25	5.94	5.20	6.14	6.13	5.11

Tipos de vegetación	Compuestos					
	11	12	13	14	15	16
Selva	6.94	6.58	12.32	11.44	8.72	9.38
Pastizal	4.50	4.57	11.41	8.59	7.69	7.12
Agrícola	4.33	3.79	7.38	4.96	5.74	6.06
Veg. hidrófila	3.37	6.63	10.88	5.42	4.45	3.15

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 12



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 75: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán Alex por la PY.

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los máximos valores registrados para todos los tipos de vegetación estudiados fueron del orden de 2,501.83 Km² en la V-100; 4,711.95 Km² en la V-200; y 6,872.22 Km² en la V-300, equivalentes a los existentes antes del impacto del ciclón en tierra.

Huracán Karl*Datos generales del ciclón*

General	
Categoría máx.	H3
Fecha/hora [UTC] Inicio	13/09/2010 18:00
Fecha /hora [UTC] Fin	18/09/2010 00:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	204
Distancia recorrida [km]	2,082.27

Impacto en Tierra	
Categoría en Tierra	TT
Fecha /hora [UTC]	17/09/2010 12:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	102
Distancia recorrida [km]	303.62

Trayectoria y vecindades

Vecindad	Superficie	
	Km ²	%
V 100	29,679.36	23.45
V 200	57,972.14	45.81
V 300	81,287.77	64.24

Nota: Porcentajes con relación a la superficie total de la PFPY: 126,547.38 Km⁸

Simbología

Categoría y trayectoria del ciclón

- H5
- H4
- H3
- H2
- H1
- TT
- DT

Vecindades

- 100 Km
- 200 Km
- 300 Km

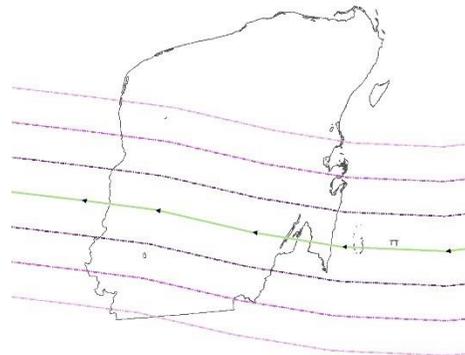


Figura 76: Trayectoria del huracán Karl y delimitación de las zonas de impacto (vecindades)

En el Cuadro 46 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 46: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán Karl

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	24,302.43	81.88	47,269.71	81.54	66,494.03	81.80
Pastizal	2,429.52	8.19	4,246.80	7.33	5,281.63	6.50
Agrícola	1,504.37	5.07	3,134.27	5.41	4,341.94	5.34
Vegetación hidrófila	1,151.75	3.88	2,735.90	4.72	4,218.33	5.19

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

El huracán *Karl* fue el segundo de tres ciclones en tocar tierra en el año 2010, su trayectoria cruzo la PY por la parte centro-sur, disminuyendo su intensidad a al momento de su paso a categoría de tormenta tropical, con vientos máximos sostenidos registrados en tierra del orden de los 102 km/h.

El fenómeno no represento un aumento en el estado de estrés de la vegetación dentro de las zonas de impacto estudiadas, en el momento de su ingreso a tierra los valores extremos de las aNDVI se mantuvieron estables (C-17) y hacia la segunda semana posterior (C-18), donde los valores disminuyeron significativamente en el orden de entre un 7 a 8 % con respecto al estado previo al paso del ciclón (C-16), por lo que se puede considerar que el impacto fue de tipo positivo poco significativo (Figura 77).

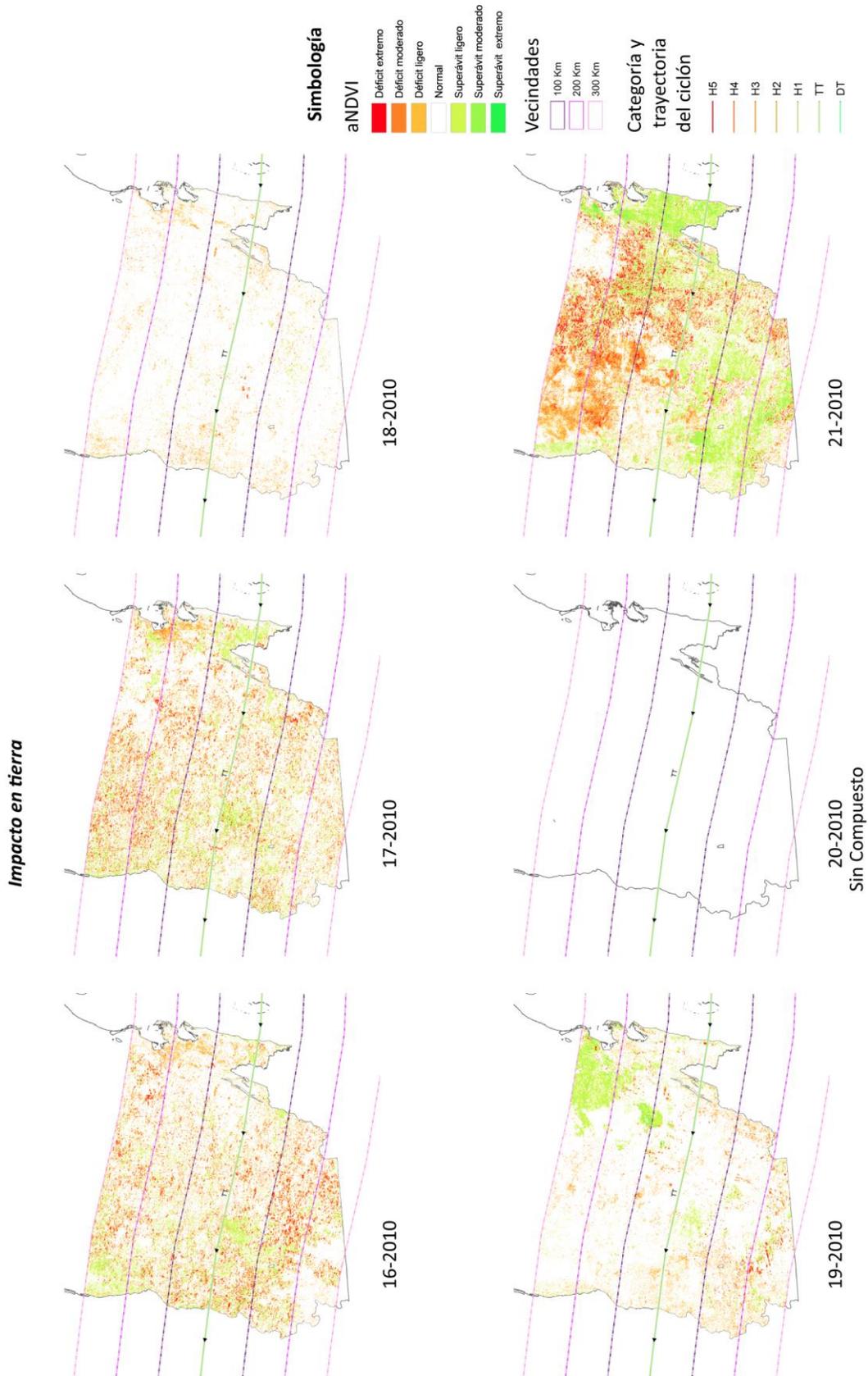


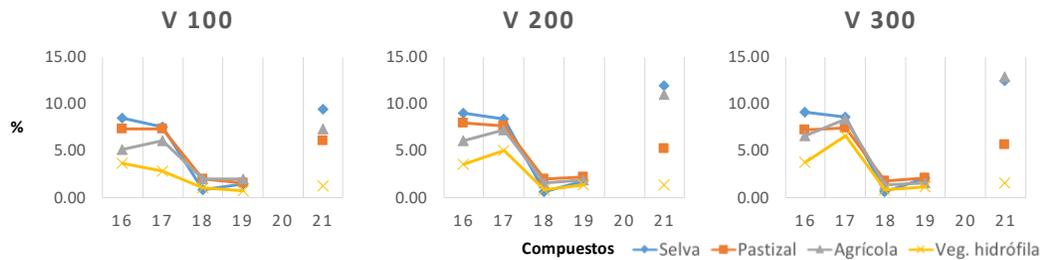
Figura 77: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso de huracán Karl por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 47. Por su parte, en la Figura 78 se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta cuatro (4) compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 17 (C-17).

Cuadro 47: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán Karl por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos						Compuestos						Compuestos					
	16	17	18	19	20	21	16	17	18	19	20	21	16	17	18	19	20	21
Selva	8.42	7.46	0.75	1.47		9.38	9.01	8.37	0.63	1.78		11.93	9.06	8.51	0.60	2.03		12.43
Pastizal	7.34	7.35	1.98	1.56		5.99	7.92	7.60	1.91	2.11		5.17	7.20	7.37	1.73	2.10		5.58
Agrícola	5.06	6.07	1.94	1.92		7.26	6.08	7.18	1.53	1.84		10.95	6.56	8.33	1.33	1.50		12.81
Veg. hidrófila	3.64	2.78	1.04	0.73		1.20	3.54	5.03	0.80	1.28		1.32	3.70	6.55	0.80	1.12		1.51

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 17



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 78: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán Karl por la PY.

En el C-21, se presenta un aumento considerable de los valores de las aNDVI, los cuales están asociados a la presencia del huracán *Richard*, el cual impacta la PY 6 semanas después del huracán *Karl*.

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los máximos valores registrados durante el paso del ciclón para todos los tipos de vegetación estudiados fueron del orden de 2,114.95 Km² en la V-100; 4,642.68 Km² en la V-200; y 6,684.77 Km² en la V-300, equivalentes a los existentes antes del impacto del ciclón en tierra.

Huracán Richard

Datos generales del ciclón

General	
Categoría máx.	H2
Fecha/hora [UTC] Inicio	19/10/2010 18:00
Fecha /hora [UTC] Fin	26/10/2010 06:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	157
Distancia recorrida [km]	1,928.58

Impacto en Tierra	
Categoría en Tierra	TT
Fecha /hora [UTC]	25/10/2010 00:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	74
Distancia recorrida [km]	57.57

Trayectoria y vecindades

Vecindad	Superficie	
	Km ²	%
V 100	8,083.64	6.39
V 200	20,007.21	15.81
V 300	33,517.90	26.49

Nota: Porcentajes con relación a la superficie total de la PFPY: 126,547.38 Km⁹

Simbología

Categoría y trayectoria del ciclón

- H5
- H4
- H3
- H2
- H1
- TT
- DT

Vecindades

- 100 Km
- 200 Km
- 300 Km

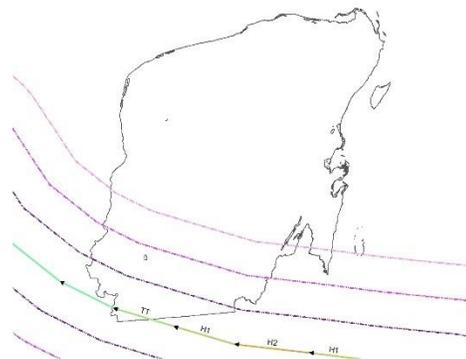


Figura 79: Trayectoria del huracán Richard y delimitación de las zonas de impacto (vecindades)

En el Cuadro 48 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 48: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán Richard

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	6,870.75	85.00	17,009.50	85.02	27,971.46	83.45
Pastizal	1,096.88	13.57	2,282.75	11.41	3,559.13	10.62
Agrícola	13.25	0.16	474.68	2.37	1,304.77	3.89
Vegetación hidrófila	54.16	0.67	101.24	0.51	408.31	1.22

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

El huracán *Richard* fue el tercer y último ciclón en tocar tierra en el año 2010, su trayectoria pasa justo por el extremo sur de la PY, con una categoría de tormenta tropical y vientos máximos sostenidos registrados en tierra del orden de los 74 km/h.

La base de datos del IRI no cuenta con el compuesto inmediato posterior a la fecha en que impacto el ciclón, por lo que no es posible identificar durante ese periodo los efectos sobre la vegetación. Sin embargo, se aprecia en los resultados que los valores extremos de las aNDVI se mantuvieron prácticamente iguales entre el compuesto de impacto (C-18) y los compuestos correspondientes a la tercera (3) y cuarta (4) semanas posteriores (C-21).

Fue hacia el C-22 (cinco semanas aproximadamente), que los valores de las aNDVI descienden alrededor de un 5%, hasta alcanzar niveles cercanos a los considerados como normal y equivalentes a los que presentaba la vegetación antes de la formación del fenómeno, por lo que se puede considerar que el impacto fue de carácter negativo, poco significativo (Figura 80).

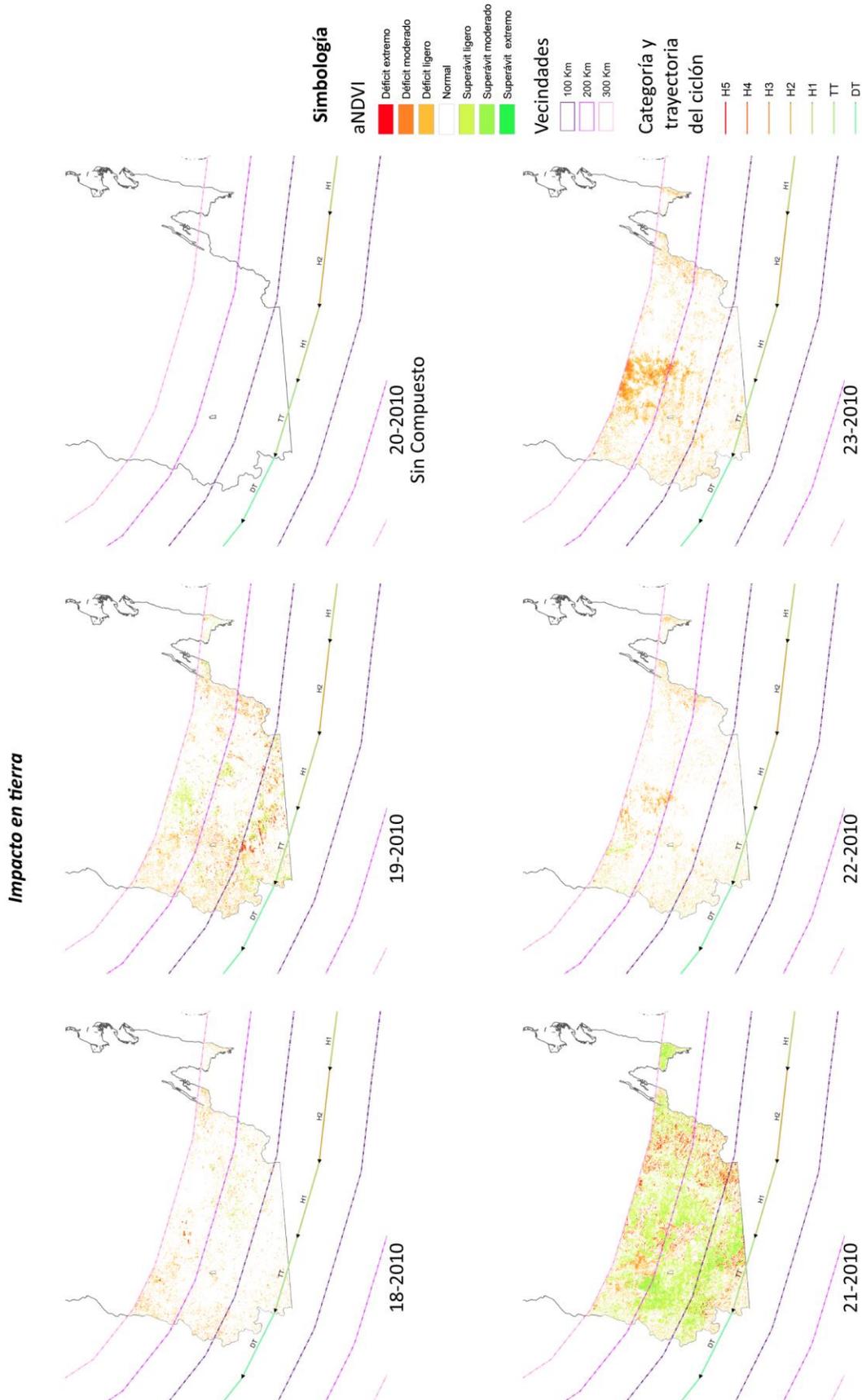


Figura 80: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso del huracán Richard por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 49. Por su parte, en la Figura 81 se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta cuatro (4) compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 19 (C-19).

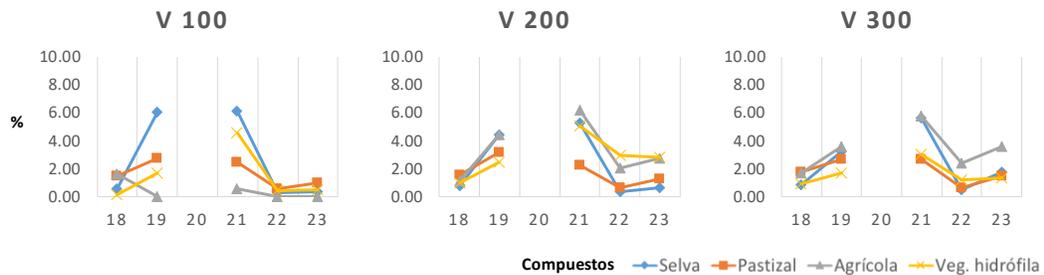
Cuadro 49: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán Richard por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos					
	18	19	20	21	22	23
Selva	0.56	6.02		6.08	0.31	0.33
Pastizal	1.45	2.77		2.47	0.54	0.99
Agrícola	1.60	0.00		0.53	0.00	0.00
Veg. hidrófila	0.13	1.70		4.58	0.39	0.52

Tipos de vegetación	Compuestos					
	18	19	20	21	22	23
Selva	0.75	4.40		5.27	0.34	0.64
Pastizal	1.57	3.15		2.27	0.63	1.30
Agrícola	1.15	4.43		6.20	2.03	2.74
Veg. hidrófila	0.97	2.49		5.05	2.98	2.84

Tipos de vegetación	Compuestos					
	18	19	20	21	22	23
Selva	0.82	3.23		5.65	0.53	1.78
Pastizal	1.75	2.65		2.70	0.67	1.45
Agrícola	1.71	3.61		5.78	2.43	3.59
Veg. hidrófila	0.91	1.71		3.02	1.19	1.32

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 19



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 81: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán Richard por la PY.

En el C-21, se presenta un incremento considerable de los valores de las aNDVI, los cuales están asociados a la presencia del huracán *Richard*, el cual pasa por tierra 6 semanas después del huracán *Karl*.

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los máximos valores registrados durante el paso del ciclón para todos los tipos de vegetación estudiados fueron del orden de 447.46 Km² en la V-100; 981.98 Km² en la V-200; y 1,763.60 Km² en la V-300, equivalentes a los existentes antes del impacto del ciclón en tierra.

Tormenta Tropical Rina

Datos generales del ciclón

General	
Categoría máx.	TT
Fecha/hora [UTC] Inicio	22/Oct/2011 00:00
Fecha /hora [UTC] Fin	29/Oct/2011 18:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	185
Distancia recorrida [km]	1,633.80

Impacto en Tierra	
Categoría en Tierra	TT
Fecha /hora [UTC]	28/10/2011 02:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	102
Distancia recorrida [km]	98.92

Trayectoria y vecindades

Vecindad	Superficie	
	Km ²	%
V 100	9,834.79	7.77
V 200	23,979.49	18.95
V 300	41,164.34	32.53

Nota: Porcentajes con relación a la superficie total de la PFPY: 126,547.38 Km¹⁰

Simbología

Categoría y trayectoria del ciclón

- H5
- H4
- H3
- H2
- H1
- TT
- DT

Vecindades

- 100 Km
- 200 Km
- 300 Km

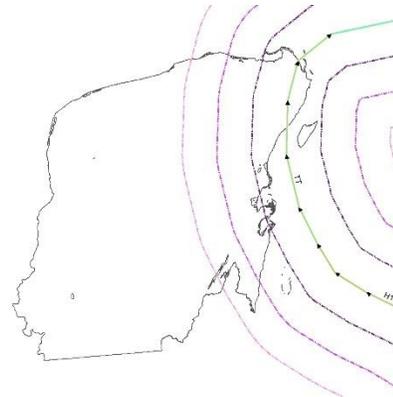


Figura 82: Trayectoria de la tormenta tropical Rina y delimitación de las zonas de impacto (vecindades)

En el Cuadro 50 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 50: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto de la tormenta tropical Rina

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	8,136.44	82.73	18,338.21	76.47	31,294.94	76.02
Pastizal	160.28	1.63	1,581.75	6.60	4,355.78	10.58
Agrícola	64.51	0.66	286.66	1.20	615.53	1.50
Vegetación hidrófila	987.33	10.04	3,133.15	13.07	4,001.86	9.72

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

La tormenta tropical *Rina* fue el único ciclón que toca tierra en el año 2011, su trayectoria pasa por la punta noreste de la PY, donde se localizan las ciudades de Cozumel, Playa del Carmen y Cancún. El meteoro impacto tierra con una categoría de tormenta tropical y vientos máximos sostenidos registrados en tierra del orden de los 102 km/h.

Los efectos de los vientos y lluvias generadas por la tormenta tropical, en términos generales no representaron un aumento en los valores extremos de las aNDVI con relación a los valores previos a su paso por tierra, dichas disminución oscila entre un 3 y 4%. En un análisis individual por tipo de vegetación se puede apreciar que fue en la de tipo hidrófila, donde se presenta un impacto negativo, aumentando los valores en el orden de 2 a 3% como máximo en el compuesto correspondiente al impacto en tierra (C-19).

La recuperación de la vegetación (incluida la hidrófila) se da a partir de la segunda y tercera semana posteriores (C-20), donde los valores alcanzaron niveles comparables a los considerados como normales, por lo que el impacto puede ser considerado como positivo, poco significativo (Figura 83).

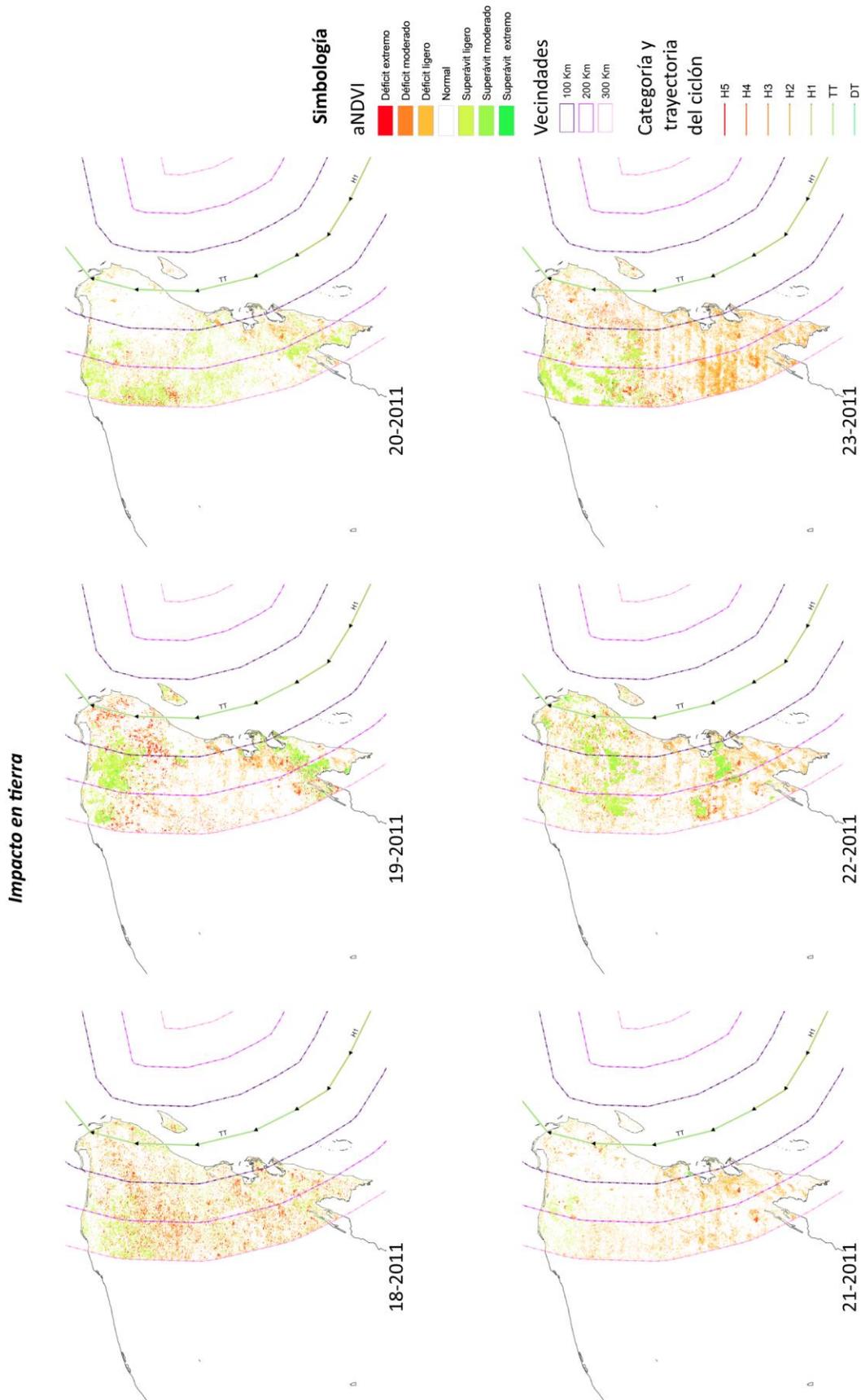


Figura 83: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso de la tormenta tropical Rina por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 51. Por su parte, en la Figura 84 se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta cuatro (4) compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 19 (C-19).

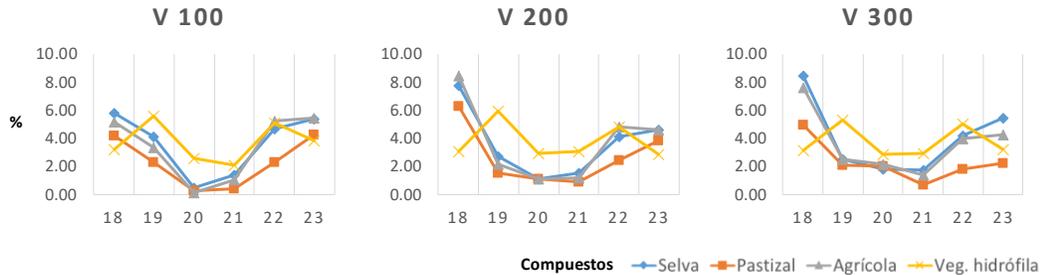
Cuadro 51: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical Rina por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos					
	18	19	20	21	22	23
Selva	5.77	4.08	0.50	1.36	4.63	5.35
Pastizal	4.21	2.29	0.25	0.38	2.29	4.25
Agrícola	5.14	3.33	0.10	1.05	5.25	5.46
Veg. hidrófila	3.18	5.59	2.56	2.08	5.10	3.80

Tipos de vegetación	Compuestos					
	18	19	20	21	22	23
Selva	7.78	2.72	1.11	1.54	4.13	4.58
Pastizal	6.28	1.54	1.08	0.90	2.43	3.80
Agrícola	8.42	2.15	1.06	1.16	4.78	4.59
Veg. hidrófila	3.05	5.95	2.93	3.04	4.78	2.88

Tipos de vegetación	Compuestos					
	18	19	20	21	22	23
Selva	8.46	2.50	1.81	1.71	4.14	5.41
Pastizal	4.94	2.10	1.97	0.70	1.78	2.18
Agrícola	7.61	2.53	2.17	1.36	3.97	4.25
Veg. hidrófila	3.13	5.31	2.87	2.91	5.02	3.18

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 19



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 84: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical Rina por la PY.

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los máximos valores registrados durante el paso del ciclón para todos los tipos de vegetación estudiados fueron del orden de 392.64 Km² en la V-100; 715.20 Km² en la V-200; y 1,100.97 Km² en la V-300, equivalentes a los existentes antes del impacto del ciclón en tierra.

Huracán Ernesto

Datos generales del ciclón

General	
Categoría máx.	H2
Fecha/hora [UTC] Inicio	01/08/2012 12:00
Fecha /hora [UTC] Fin	10/08/2012 01:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	157
Distancia recorrida [km]	5,585.08

Impacto en Tierra	
Categoría en Tierra	H2
Fecha /hora [UTC]	08/08/2012 00:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	157
Distancia recorrida [km]	342.30

Trayectoria y vecindades

Vecindad	Superficie	
	Km ²	%
V 100	32,731.42	25.86
V 200	60,279.73	47.63
V 300	77,484.42	61.23

Nota: Porcentajes con relación a la superficie total de la PFPY: 126,547.38 Km¹¹

Simbología

Categoría y trayectoria del ciclón

- H5
- H4
- H3
- H2
- H1
- TT
- DT

Vecindades

- 100 Km
- 200 Km
- 300 Km

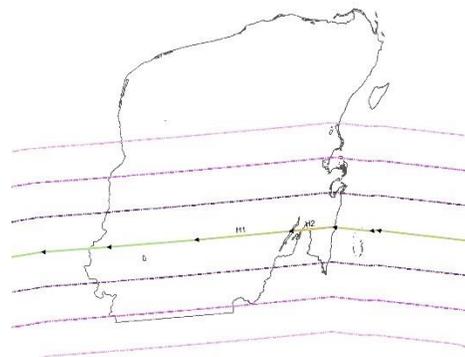


Figura 85: Trayectoria del huracán Ernesto y delimitación de las zonas de impacto (vecindades)

En el Cuadro 52 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 52: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto del huracán Ernesto

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	26,947.46	82.33	49,520.01	82.15	64,056.02	82.67
Pastizal	3,036.85	9.28	4,754.57	7.89	5,359.88	6.92
Agrícola	806.37	2.46	2,370.16	3.93	3,656.72	4.72
Vegetación hidrófila	1,591.81	4.86	3,053.73	5.07	3,655.76	4.72

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

El huracán *Ernesto* correspondió al primero de dos ciclones que tocaron tierra en el año 2012, su trayectoria cruza la PY por su parte sur, atravesando la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. Impacta con una categoría de huracán 2, con vientos máximos sostenidos registrados en tierra del orden de los 157 km/h.

Los efectos de los vientos y lluvias generadas por la tormenta tropical se presentaron entre una y dos semanas después de su paso (C-15), el aumento de los valores de las aNDVI extremos fue del orden del 3%. La zona que presentó la mayor extensión afectada fue la correspondiente a la V-200 (franja de 100 km hacia cada lado de la trayectoria).

La vegetación que sufrió los mayores cambios negativos fue la de tipo hidrófila. Por lo que a la recuperación de estado de la vegetación se refiere, es hacia la tercera (3) y cuarta (4) semanas (C-16) donde los valores de las aNDVI regresan a niveles cercanos a los que se tenían antes del paso del huracán. El impacto provocado fue negativo poco significativo, dado el poco incremento de los valores de las anomalías y la pronta recuperación de la vegetación (Figura 86).

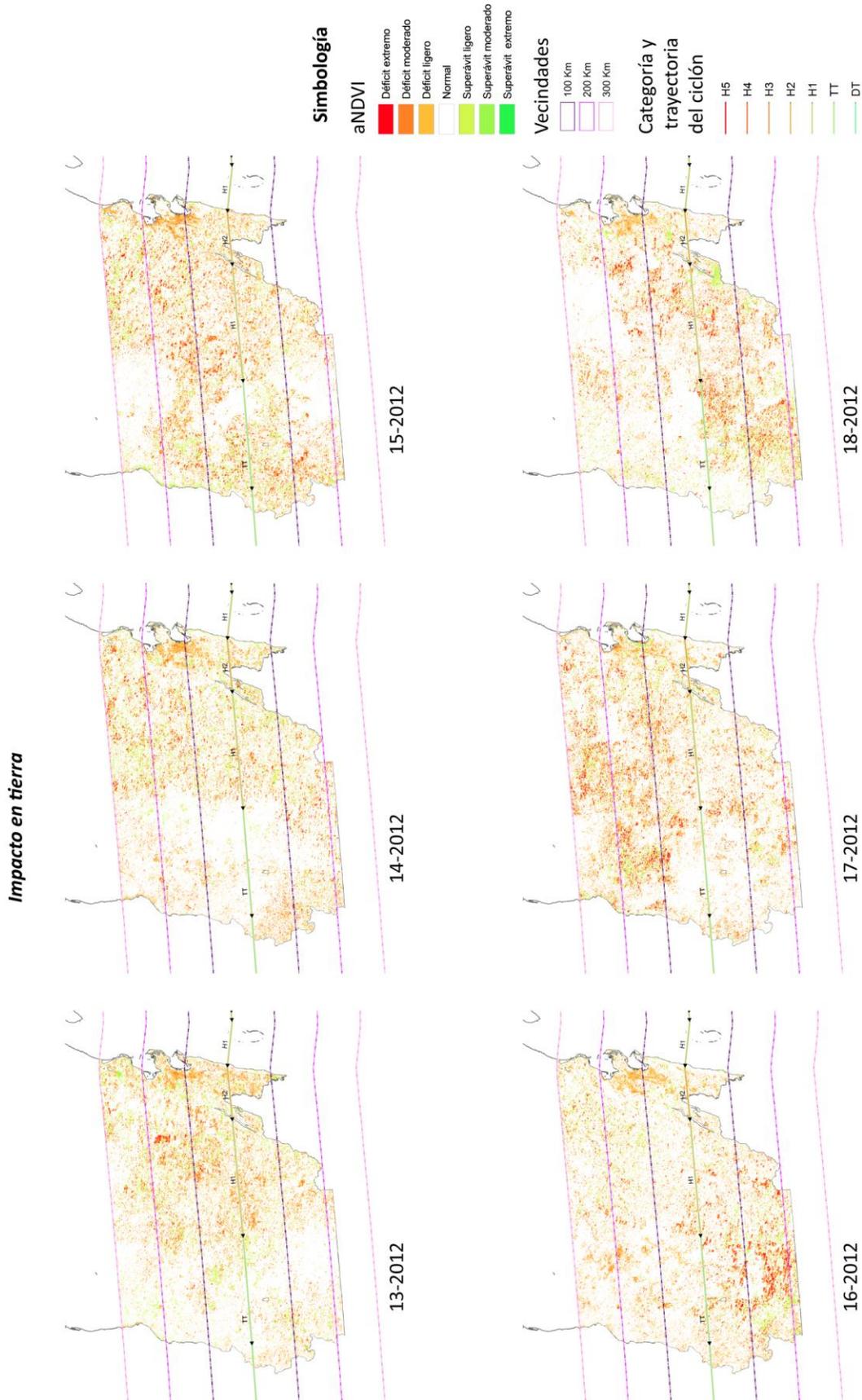


Figura 86: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso de huracán Ernesto por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 53. Por su parte, en la Figura 87 se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta cuatro (4) compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el C-14 (C-14).

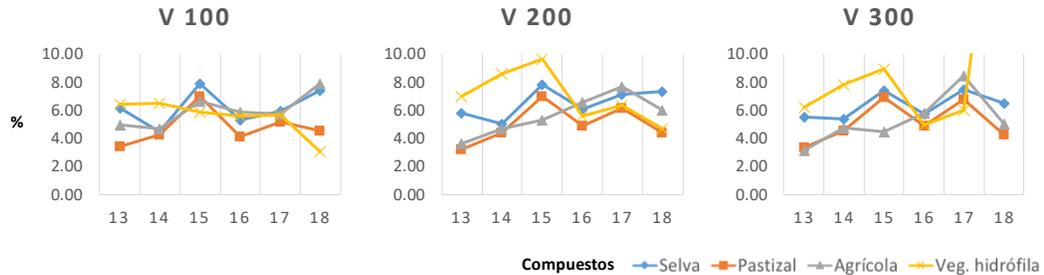
Cuadro 53: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso del huracán Ernesto por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos					
	13	14	15	16	17	18
Selva	6.14	4.45	7.87	5.27	5.94	7.41
Pastizal	3.40	4.28	6.95	4.07	5.18	4.55
Agrícola	4.97	4.66	6.62	5.88	5.73	7.90
Veg. hidrófila	6.40	6.46	5.88	5.59	5.65	3.05

Tipos de vegetación	Compuestos					
	13	14	15	16	17	18
Selva	5.81	4.99	7.84	6.06	7.13	7.31
Pastizal	3.19	4.42	6.95	4.87	6.16	4.38
Agrícola	3.59	4.65	5.26	6.53	7.70	6.00
Veg. hidrófila	6.96	8.56	9.63	5.58	6.34	4.70

Tipos de vegetación	Compuestos					
	13	14	15	16	17	18
Selva	5.47	5.37	7.39	5.74	7.48	6.49
Pastizal	3.31	4.50	6.91	4.87	6.75	4.22
Agrícola	3.10	4.74	4.47	5.81	8.43	4.98
Veg. hidrófila	6.24	7.81	8.93	4.94	5.98	26.87

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 14



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 87: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso del huracán Ernesto por la PY.

En el C-17 se observa, particularmente en la zona sur de la PY, un nuevo incremento en los valores de las aNDVI, las fechas coinciden con el paso de la tormenta tropical *Helene*, la cual impacta tierra una semana después del huracán *Ernesto*.

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los máximos valores registrados durante el paso del ciclón para todos los tipos de vegetación estudiados fueron del orden de 2,478.67 Km² en la V-100; 4,633.71 Km² en la V-200; y 5,591.86 Km² en la V-300, equivalentes a los existentes antes del impacto del ciclón en tierra.

Tormenta Tropical Helene*Datos generales del ciclón*

General	
Categoría máx.	TT
Fecha/hora [UTC] Inicio	09/08/2012 18:00
Fecha /hora [UTC] Fin	18/08/2012 18:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	74
Distancia recorrida [km]	6,420.32

Impacto en Tierra	
Categoría en Tierra	DT
Fecha /hora [UTC]	16/08/2012 00:00
Velocidad máx. del viento [km/h]	46
Distancia recorrida [km]	79.28

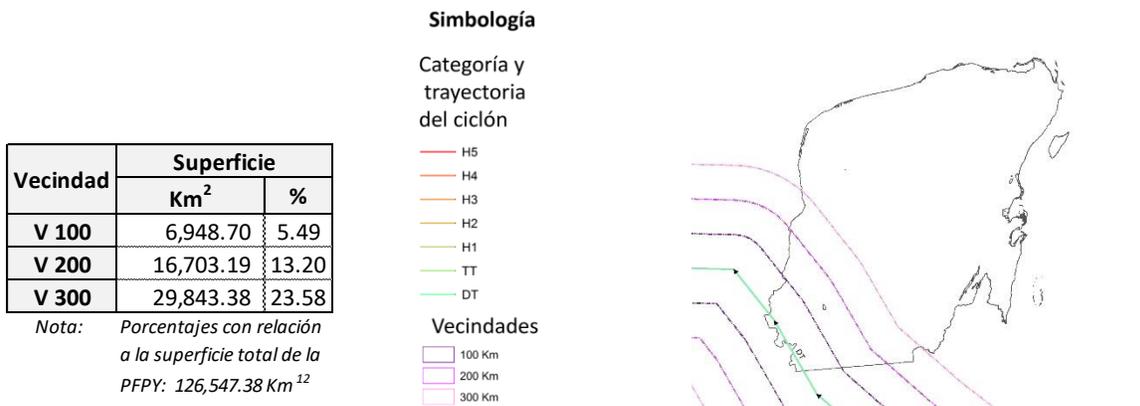
Trayectoria y vecindades

Figura 88: Trayectoria de la tormenta tropical Helene y delimitación de las zonas de impacto (vecindades)

En el Cuadro 54 se presenta la extensión territorial por tipo de vegetación por zona de impacto, así como el porcentaje con relación a la superficie total de cada zona.

Cuadro 54: Extensión por tipo de vegetación y porcentajes con respecto a cada zona de impacto de la tormenta tropical Helene

Tipo vegetación	Vecindades					
	V 100		V 200		V 300	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Selva	5,103.93	73.45	13,517.21	80.93	24,856.84	83.29
Pastizal	1,701.70	24.49	2,688.84	16.10	3,461.50	11.60
Agrícola	35.11	0.51	244.37	1.46	1,052.63	3.53
Vegetación hidrófila	49.66	0.71	137.59	0.82	258.57	0.87

Nota: Porcentajes con respecto a la superficie de cada vecindad

Resultados determinados a partir del análisis a nivel de zonas de impacto

La tormenta tropical *Helene* fue el segundo y último ciclón en pasar por tierra en el año 2012, su trayectoria pasa por el límite suroeste de la PY. Impacta con una categoría de depresión tropical con vientos máximos sostenidos registrados en tierra del orden de los 46 km/h.

El mayor impacto fue sobre la vegetación de tipo hidrófila, donde el incremento fue de cerca de un 11%, en la V-100. Para el resto de los tipos de vegetación, los valores de las aNDVI presentaron un aumento no mayor a un 3%. Los mayores efectos se presentaron en el mismo compuesto donde impacta el meteoro (C-15).

La recuperación de la vegetación comienza tan pronto se degrada el ciclón (C-16), presentando valores muy cercanos hacia los considerados como normales entre tres (3) y cuatro (4) semanas posteriores (C17). El impacto se puede clasificar como negativo, poco significativo. (Figura 89).

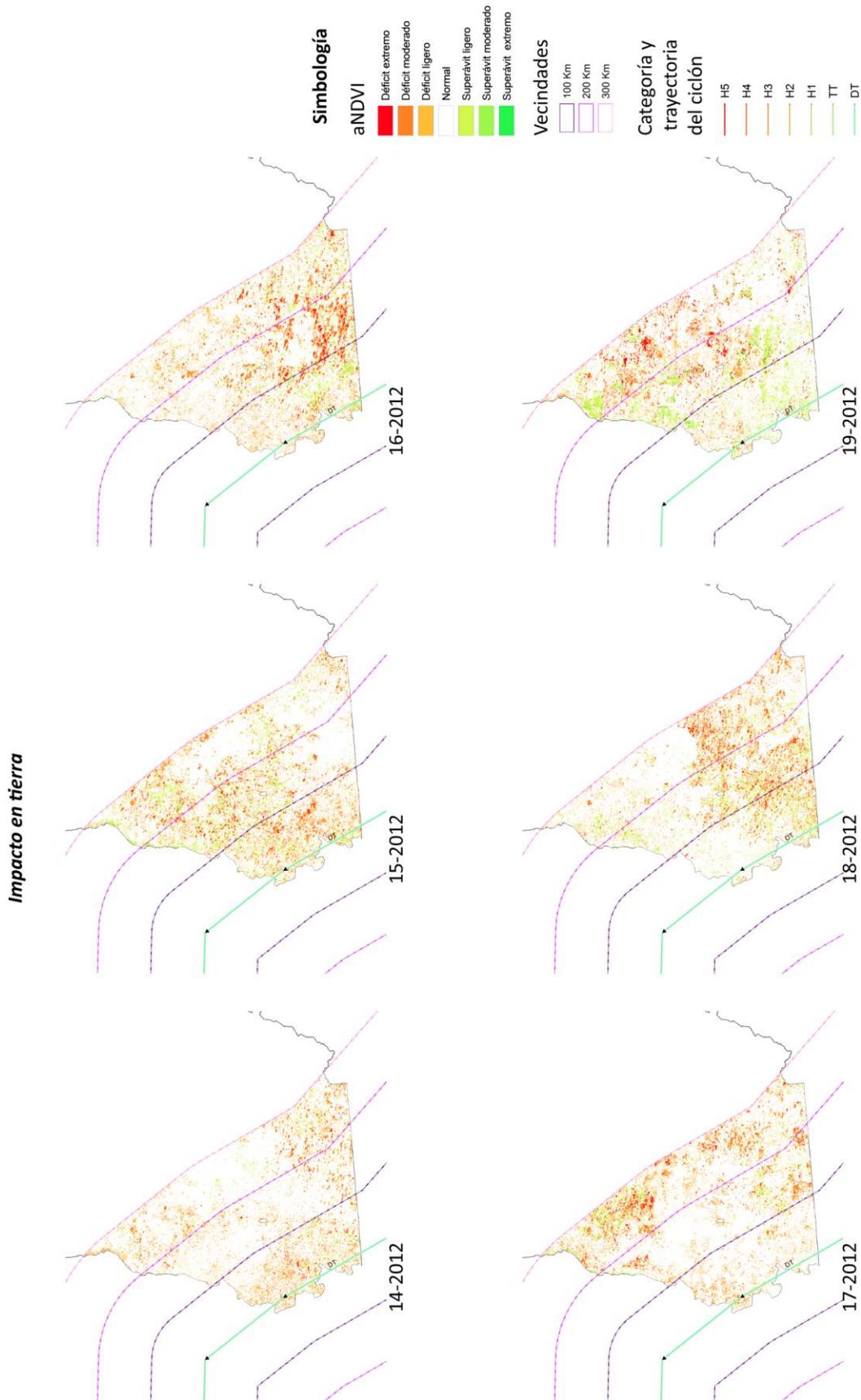


Figura 89: Valores medios de aNDVI por compuesto durante el paso de la tormenta tropical Helene por la PY.

Los porcentajes de cobertura territorial de las aNDVI (déficit moderado y extremo) para cada compuesto, por vecindad se presentan en el Cuadro 55. Por su parte, en la Figura 90 se muestra gráficamente el desarrollo del cambio en las aNDVI (déficit moderado y extremo) desde el compuesto previo al impacto, hasta cuatro (4) compuestos posteriores. El impacto en tierra se presenta en el compuesto 15 (C-15).

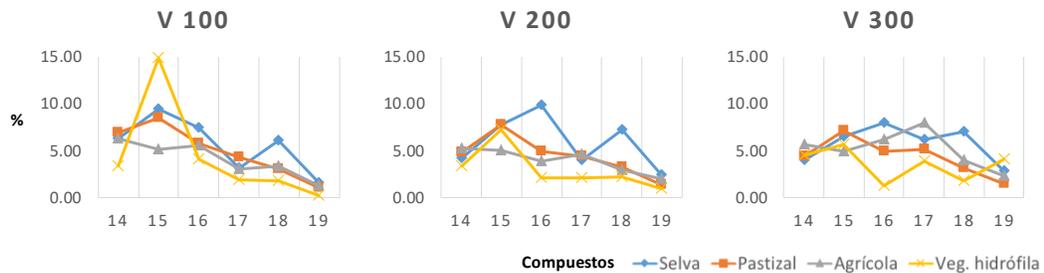
Cuadro 55: Porcentaje de cobertura de las aNDVI clasificadas como de Déficit Extremo-Moderado por tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical Helene por la PY.

Tipos de vegetación	Compuestos					
	14	15	16	17	18	19
Selva	6.28	9.38	7.48	3.09	6.06	1.58
Pastizal	6.85	8.47	5.79	4.24	3.05	0.97
Agrícola	6.32	5.14	5.53	2.96	3.36	1.20
Veg. hidrófila	3.30	14.92	4.02	1.87	1.72	0.14

Tipos de vegetación	Compuestos					
	14	15	16	17	18	19
Selva	4.16	7.76	9.86	4.00	7.19	2.33
Pastizal	4.80	7.79	4.95	4.42	3.27	1.36
Agrícola	5.23	5.00	3.88	4.58	2.87	1.90
Veg. hidrófila	3.36	7.24	2.06	2.07	2.21	0.94

Tipos de vegetación	Compuestos					
	14	15	16	17	18	19
Selva	3.94	6.51	7.96	6.12	7.06	2.79
Pastizal	4.33	7.08	4.86	5.13	3.09	1.43
Agrícola	5.69	4.94	6.14	7.95	3.96	2.30
Veg. hidrófila	4.47	5.60	1.23	3.81	1.71	4.08

Nota: Impacto en tierra en el compuesto 15



Porcentajes con respecto a la superficie representada por tipo de vegetación por vecindad.

Figura 90: Comportamiento temporal de los valores medios de aNDVI por vecindad y tipo de vegetación durante el paso de la tormenta tropical Helene por la PY.

Con relación a la superficie de cada zona de impacto, los máximos valores registrados durante el paso del ciclón para todos los tipos de vegetación estudiados fueron del orden de 632.22 km² en la V-100; 1,280.09 km² en la V-200; y 1,928.44 km² en la V-300, equivalentes a los existentes antes del impacto del ciclón en tierra.

Geóg. Gabriel Sánchez Rivera



UNAM
POSGRADO

Geografía

