



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Variabilidad climática de la provincia de Sechura y su  
impacto en las actividades productivas. Compilación y  
análisis de datos ambientales mediante software R**

Tesis para optar el Título de  
Ingeniero Industrial y de Sistemas

**Nohelia Stefany Palacios Saavedra  
Isabella Alejandra Zapata Gallo**

**Asesor(es):  
Dr. Ing. Rodolfo Rodríguez Arisméndiz  
Dr. Antonio Mabres Torelló**

**Piura, setiembre de 2022**



## Dedicatoria

Deseamos expresar nuestro agradecimiento:

A Dios, por darnos la sabiduría y la fortaleza para desarrollar el presente trabajo.

A nuestros padres, por ser nuestra inspiración, nuestra principal motivación y apoyarnos incondicionalmente.

A nuestros asesores, por la oportunidad de desarrollar la presente investigación, por su orientación y apoyo para la culminación exitosa de este proyecto.

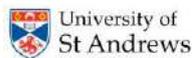
A nosotras mismas, por nuestro esfuerzo y alentarnos mutuamente para alcanzar nuestra meta deseada.

A nuestros familiares y amigos cercanos, por acompañarnos en el camino y compartir momentos agradables.

A todas las personas que de alguna manera colaboraron en la realización de este trabajo.

Al Scottish Funding Council (SFC) y Arts and Humanities Research Council de la Universidad de Saint Andrews de Escocia por financiar dicho proyecto en beneficio de la provincia de Sechura.

Este trabajo de investigación se realizó en el marco del proyecto internacional: “Pesca y agricultura en el desierto: una plataforma para entender cómo responder ante El Niño en el contexto del cambio climático en Sechura, Perú” ejecutado interdisciplinariamente por la Universidad de Saint Andrews (Escocia), la Universidad de Newcastle (UK) e instituciones peruanas como la Universidad de Piura (UDEP), Centro de Investigación y Promoción del Campesino (CIPCA), Asociación benéfica PRISMA, United Oceans de Sechura y la Fundación para el Desarrollo Agrario (FDA).





## Resumen

La zona desértica de Sechura, en la costa norte del Perú, es una de las más vulnerables frente a la variabilidad climática. A lo largo del tiempo, ha sido afectada por muchos eventos climáticos, entre ellos el Fenómeno El Niño (FEN), que impacta en sus principales actividades productivas, entre ellas pesca y agricultura, con la consiguiente afectación a la población. La presente investigación ha tenido como objetivo, conformar una base de datos climáticos de la provincia de Sechura para analizar su variabilidad climática y estimar su impacto en las actividades agrícola y pesquera de esta provincia.

Se conformó una base de datos climáticos a partir de varios tipos de registros o fuentes (instrumentales, históricas y naturales) y la metodología utilizada fue el análisis descriptivo de resultados estadísticos. Los datos de registros instrumentales (1972 a 2019) fueron procesados usando el software R Studio. A partir de registros naturales se presenta una reconstrucción de posibles eventos FEN desde 1300 al 2019. En el caso de los históricos, se encontró un total de 107 eventos el Niño, los cuales se hallaron a partir de diversas fuentes escritas. Los eventos fuertes del FEN más recientes son los de 1983, 1998 y 2017. En los Niños fuertes y extraordinarios, las anomalías porcentuales de lluvias presentaron valores positivos que, según el SENAMHI, indican superávit. La mayor anomalía de la TSM se presentó en el FEN de 1983 un valor de +10.5 °C, lo cual es 15 veces más la desviación estándar de un año neutro, según el rango ICEN.

Para analizar el impacto de la variabilidad climática, se realizó el análisis de regresión entre los parámetros climáticos y las variables dependientes elegidas para cada sector. Así, por ejemplo, el Limón parece ser un cultivo muy afectado por la variabilidad climática, su rendimiento disminuye en aproximadamente 55% ante la presencia un aumento de precipitaciones. La actividad pesquera es impactada por la temperatura del aire, la anomalía de TSM y la lluvia, lo cual se puede afirmar mediante el análisis de regresión, que con un 95% de confiabilidad se obtuvo un estadístico  $R_{ajust}^2$  igual a 71.68%.

Se concluye que el FEN afecta en gran medida a la agricultura y pesca de Sechura, bajando el rendimiento de sus productos e incluso teniendo repercusiones en años posteriores. Sin embargo, si no se tiene conocimiento de cuanto es el impacto, no se podrán implementar nuevas estrategias y pautas para mitigar los efectos de El Fenómeno El Niño o intentar abordarlo como un fenómeno de oportunidades.



## Tabla de contenido

<b>Introducción .....</b>	<b>23</b>
<b>Capítulo 1 Marco teórico.....</b>	<b>25</b>
1.1 Conceptos relacionados al estudio del clima .....	25
1.1.1 <i>Clima</i> .....	25
1.1.2 <i>Parámetros meteorológicos</i> .....	25
1.1.3 <i>Normales climatológicas</i> .....	26
1.1.4 <i>Cambio climático</i> .....	26
1.1.5 <i>Variabilidad climática</i> .....	28
1.1.6 <i>Climatología</i> .....	28
1.1.7 <i>Año hidrológico</i> .....	30
1.2 El Cambio climático y la Variabilidad climática en el Perú.....	31
1.2.1 <i>Condiciones de riesgo ante el CC</i> .....	31
1.2.2 <i>Peligros hidrometeorológico asociados al CC en el Perú</i> .....	32
1.2.3 <i>Impactos del CC y la VC en el Perú</i> .....	34
1.2.4 <i>Impactos del CC y la VC en la costa norte</i> .....	37
1.3 Fenómeno El Niño (FEN).....	39
1.3.1 <i>El Niño-Oscilación Sur o Niño Global</i> .....	41
1.3.2 <i>Niño costero</i> .....	42
1.3.3 <i>Tipos de El Niño</i> .....	43
1.3.4 <i>Registros del FEN en el Perú</i> .....	46
1.3.5 <i>Clasificación de registros del FEN</i> .....	48
1.4 Análisis climático .....	58
1.4.1 <i>Caracterización climática</i> .....	58
1.4.2 <i>Clasificación climática en el Perú</i> .....	65
1.4.3 <i>Clasificación climática para el Departamento de Piura</i> .....	67
1.5 Análisis estadístico.....	68

1.5.1 Selección de modelos .....	68
1.5.2 Análisis de Regresión .....	72
1.6 Software R Studio .....	76
<b>Capítulo 2 Ámbito geográfico de aplicación del estudio. La provincia de Sechura .....</b>	<b>79</b>
2.1 Provincia de Sechura .....	79
2.1.1 Ubicación y superficie territorial .....	79
2.1.2 Demografía .....	80
2.1.3 Caracterización territorial .....	81
2.1.4 Historia de Sechura .....	83
2.2 Sechura y el FEN .....	85
2.3 Actividades productivas de Sechura .....	90
2.3.1 Sector agrícola .....	90
2.3.2 Sector pesquero .....	106
2.3.3 Otras actividades económicas .....	111
<b>Capítulo 3 Análisis y resultados a partir de Registros históricos del FEN .....</b>	<b>115</b>
3.1 Caracterización de las fuentes históricas .....	115
3.1.1 Documentación histórica .....	115
3.1.2 Documentación histórica-instrumental .....	116
3.1.3 Documentación prehistórica-arqueológica .....	117
3.2 Historia y evolución del conocimiento del FEN .....	118
3.3 Evidencia de la relación del El Niño y la Oscilación Sur .....	121
3.4 Conocimientos actuales del FEN .....	123
3.4.1 Índice de lluvia .....	123
3.4.2 Índices atmosféricos y oceánicos .....	124
3.5 Reconstrucción cronológica del FEN .....	126
3.5.1 Reconstrucción del FEN por Quinn (1525-1992) y Ortlieb (1525-1900) ....	127
3.5.2 Eventos del FEN según SENAMHI (1951-2019) .....	130
3.5.3 Reconstrucción del FEN (1525-1992) .....	131
3.6 Evidencias del FEN en la prehistoria norperuana .....	133
3.6.1 Evidencias del FEN en la cultura Moche .....	134
3.6.2 Evidencias del FEN en el Complejo arqueológico Purulén .....	136
3.6.3 Evidencias del FEN en la cultura Chavín .....	137
3.6.4 Evidencias del FEN en la cultura Vicús – Alto Piura .....	138

3.6.5 Evidencias del FEN en la cultura Chimú .....	139
<b>Capítulo 4 Monitoreo de las condiciones climáticas con registros instrumentales .....</b>	<b>143</b>
4.1 Medición y obtención de parámetros meteorológicos.....	143
4.1.1 Red de estaciones meteorológicas en la provincia de Sechura .....	143
4.1.2 Periodo de análisis .....	145
4.1.3 Procesamiento y estimación de datos faltantes .....	147
4.1.4 Análisis exploratorio .....	151
4.2 Monitoreo de las condiciones oceánicas (Litoral).....	199
4.2.1 Análisis de la TSM de la estación Paita .....	199
4.2.2 Análisis de la TSM de la estación Paita en los años Niño .....	202
4.2.3 Análisis de Tendencia de la TSM.....	204
4.2.4 Análisis del comportamiento de la precipitación frente a la TSM.....	206
4.2.5 Anomalías mensuales de la TSM .....	208
4.3 Instalación de estaciones meteorológicas .....	212
4.3.1 Instalación de una estación de monitoreo de la TSM en Bayóvar (2020) .	212
4.3.2 Instalación de una estación de monitoreo Cerritos (2020) .....	216
<b>Capítulo 5 Análisis y resultados a partir de Registros naturales .....</b>	<b>219</b>
5.1 Registros del FEN en especies arbóreas de la costa norte del Perú .....	219
5.1.1 Dendrocronología .....	219
5.1.2 Estudios dendrocronológicos en Perú.....	220
5.2 Registro del FEN en Cordones litorales de la costa norte del Perú.....	230
5.2.1 Secuencia de Chira.....	231
5.2.2 Secuencia de Colán .....	232
5.2.3 Secuencia de Sechura .....	233
5.2.4 Secuencia de Santa .....	234
5.2.5 Secuencia de Máncora.....	234
5.3 Estudios complementarios en diferentes registros naturales .....	236
5.4 Guía de un estudio dendrocronológico en muestras de Prosopis Pallida .....	241
5.4.1 Muestreo de campo.....	242
5.4.2 Preparación de la muestra .....	242
5.4.3 Construcción cronológica .....	244
<b>Capítulo 6 Impacto de la variabilidad climática en el sector agrícola y pesquero .....</b>	<b>245</b>
6.1 Impacto de la variabilidad climática en el sector agrícola .....	245

6.1.1 Impacto de la precipitación y la temperatura en el rendimiento de la producción de maíz .....	246
6.1.2 Impacto de la precipitación y la temperatura en el rendimiento del limón .....	250
6.1.3 Impacto de la precipitación y la temperatura en el rendimiento del arroz .....	256
6.1.4 Impacto de la precipitación y temperatura en el rendimiento del algodón .....	261
6.2 Impacto de la variabilidad climática en en el sector pesquero.....	266
6.2.1 Impacto de la precipitación, la temperatura y la anomalía en el desembarque pesquero directo.....	266
<b>Conclusiones.....</b>	<b>273</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>277</b>
<b>Apéndices.....</b>	<b>295</b>
Apéndice 1. Reconstrucción cronológica de ENOS a partir de Quinn, Ortlieb, Hamilton, Seiner y SENAMHI (1525-1998).....	295
Apéndice 2. Reconstrucción de posibles eventos FEN adaptado de varios tipos de registros (1300-2019).....	318
Apéndice 3. Identificación del periodo de estudio para cada variable climática. ....	323
Apéndice 4. Correlaciones de las variables meteorológicas .....	324
Apéndice 5. Instalación de la estación Bayóvar. ....	325
Apéndice 6. Instalación de la estación Cerritos. ....	326
Apéndice 7. Informe de Visita a Campo- Sechura.....	327
<b>Anexos .....</b>	<b>333</b>
Anexo 1. ICEN mensual 1994-2020 .....	333

## Lista de tablas

Tabla 1. Efectos del CC en la agricultura y sus consecuencias en la seguridad alimentaria ....	35
Tabla 2. Evidencias para reconstruir el tiempo y el clima pasados .....	49
Tabla 3. Clasificación de los registros del FEN y sus respectivas fuentes seleccionadas para la investigación.....	50
Tabla 4. Extensión en el tiempo de los registros paleoclimáticos .....	54
Tabla 5. Clasificación climática de la Provincia de Sechura .....	81
Tabla 6. Desembarque de recursos marítimos en toneladas métricas (TM) en la bahía de Sechura.....	109
Tabla 7. Evolución del conocimiento de El Niño y la Oscilación Sur .....	122
Tabla 8. Registros de los Niños Canónico, Extraordinario y Modoki .....	126
Tabla 9. Referencias de reconstrucción histórica del FEN de varios autores .....	131
Tabla 10. Estaciones meteorológicas empleadas en el estudio.....	144
Tabla 11. Periodo de datos por estación con su respectivo parámetro climático .....	146
Tabla 12. Proporción de datos mensuales completos (%) de los registros instrumentales ..	149
Tabla 13. Promedios mensuales para elaboración del climograma de la estación Bernal (1991-2019).....	152
Tabla 14. Estadísticos descriptivos por mes de la estación Bernal (1991-2019) .....	154
Tabla 15. Promedios por estaciones del año de la estación Bernal (1991-2019).....	156
Tabla 16. Promedios mensuales para elaboración del climograma de la estación Chusis (1991-2019).....	156
Tabla 17. Estadísticos descriptivos por mes de la estación Chusis (1991-2019) .....	157
Tabla 18. Promedios por estaciones del año de la estación Chusis (1991-2019).....	159
Tabla 19. Promedios mensuales para elaboración del climograma de la estación Miraflores (1991-2019) .....	160

Tabla 20. Estadísticos descriptivos por mes de la estación Miraflores (1991-2019).....	161
Tabla 21. Promedios por estaciones del año de la estación Miraflores (1991-2019) .....	163
Tabla 22. Promedios mensuales para elaboración del climograma de la estación San Miguel (1991-2019) .....	164
Tabla 23. Estadísticos descriptivos por mes de la estación San Miguel (1991-2019).....	165
Tabla 24. Promedios por estaciones del año de la estación San Miguel (1991-2019) .....	167
Tabla 25. Promedios mensuales para elaboración del climograma de la estación UDEP (1991-2019).....	168
Tabla 26. Estadísticos descriptivos por mes de la estación UDEP (1991-2019).....	169
Tabla 27. Promedios por estaciones del año de la estación UDEP (1991-2019) .....	171
Tabla 28. Precipitaciones acumuladas mensuales de la estación Bernal durante el FEN del 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017 .....	172
Tabla 29. Precipitaciones acumuladas mensuales de la estación Chusis durante el FEN del 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017 .....	174
Tabla 30. Precipitaciones acumuladas mensuales de la estación Miraflores durante el FEN del 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017 .....	175
Tabla 31. Precipitaciones acumuladas mensuales de la estación San Miguel durante el FEN del 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017 .....	177
Tabla 32. Precipitaciones acumuladas mensuales de la estación UDEP durante el FEN del 1997-1998 y 2016-2017 .....	179
Tabla 33. Variación de precipitación para cada estación (mm/año) .....	182
Tabla 34. Variación de temperatura máxima para cada estación (°C/año).....	187
Tabla 35. Variación de temperatura mínima para cada estación (°C/año) .....	190
Tabla 36. Variación de Temperatura media para cada estación (°C/año).....	193
Tabla 37. Valores extremos de anomalías de precipitación para cada estación .....	194
Tabla 38. Valores extremos de anomalías de temperatura máxima para cada estación.....	196
Tabla 39. Valores extremos de anomalías de temperatura máxima para cada estación.....	198
Tabla 40. Estadísticos Descriptivos de la TSM Paita.....	200
Tabla 41. Variación de la Temperatura superficial del mar (°C/año).....	205
Tabla 42. Equipos y accesorios de la estación meteorológica HOBO instalados en el Campamento de Petroperú en Bayóvar .....	213
Tabla 43. Hoja de datos de la estación.....	214

Tabla 44. Resumen de la reinstalación de la estación meteorológica Cerritos .....	217
Tabla 45. Estudios dendrocronológicos nacionales. ....	222
Tabla 46. Reconstrucciones paleoclimáticas del ENSO .....	240
Tabla 47. Matriz de Correlación de Registros Naturales.....	241





## Lista de figuras

Figura 1. Variación promedio de la temperatura global superficie-océano (1951-1980) .....	27
Figura 2. Riesgos de los impactos del cambio climático .....	31
Figura 3. Cambio en los promedios del clima y sus peligros de origen hidrometeorológico ..	33
Figura 4. Variabilidad climática aumentada y sus peligros de origen hidrometeorológico ....	33
Figura 5. Eventos extremos intensificados y sus peligros de origen hidrometeorológico .....	33
Figura 6. Efectos de El Niño en el Océano y la Atmosfera de la costa norte del Perú.....	34
Figura 7. Impactos negativos del cambio climático en el Perú .....	36
Figura 8. Lluvia anual (mm) en la ciudad de Piura (año hidrológico= setiembre-agosto) .....	38
Figura 9. Regiones del Océano Pacífico Ecuatorial para observación de los vientos, la TSM y las precipitaciones asociadas al FEN .....	40
Figura 10. Gráfico de Fenómeno El Niño Global y Costero .....	40
Figura 11. Condiciones océano – atmosféricas normales y durante la ocurrencia de un FEN	42
Figura 12. Mecanismo atmosférico durante un El Niño Costero .....	43
Figura 13. Patrones de anomalía de TSM (°C) en la fase “pico” (marzo-mayo) .....	45
Figura 14. Patrones de anomalía de TSM (°C) en la fase “madura” posterior (diciembre-febrero) .....	46
Figura 15. Fuentes de registro de los eventos El Niño .....	47
Figura 16. Diagrama de flujo con datos útiles para reconstruir climas pasados .....	48
Figura 17. Mapa de ubicación de estaciones oceanográficas en Perú .....	58
Figura 18. Esquema representativo del método U.S. National Weather Service .....	59
Figura 19. Clasificación climática en el Perú elaborado por el método Thornthwaite (periodo de referencia 1981-2010).....	66
Figura 20. Mapa climático del departamento de Piura .....	67

Figura 21. Climograma de las temperaturas del aire y la precipitación en Miraflores y Ayabaca .....	68
Figura 22. Histograma de una variable que sigue una distribución normal .....	74
Figura 23. Gráfico de residuos de acuerdo con el MCO.....	74
Figura 24. Gráfico de residuos con heteroscedasticidad .....	76
Figura 25. Mapa de ubicación de la provincia de Sechura.....	80
Figura 26. Densidad poblacional de la provincia de Sechura (2016) .....	81
Figura 27. Climograma de Sechura (1989-2019).....	82
Figura 28. Mapa de zonas áridas en América Latina.....	85
Figura 29. Mapa comparativo de cambios estacionales en la extensión de las lagunas Salinas y La Niña.....	86
Figura 30. Vista de la laguna Ñapique en época seca (arriba) y época húmeda (abajo) .....	87
Figura 31. Mapa comparativo del cambio en dimensiones de la antigua Laguna Ramón .....	88
Figura 32. Principales cultivos de Sechura .....	91
Figura 33. Comportamiento de la producción nacional de arroz cáscara .....	93
Figura 34. Principales departamentos productores de arroz cáscara en el Perú .....	93
Figura 35. Distribución distrital de siembras de arroz de Sechura (%) .....	94
Figura 36. Rendimiento del arroz en Sechura (1995 - 2017) .....	95
Figura 37. Comportamiento de la producción nacional de maíz amarillo duro .....	97
Figura 38. Principales productores de maíz amarillo duro .....	97
Figura 39. Distribución distrital de cosechas de Maíz Amarillo Duro de Sechura (%) .....	98
Figura 40. Rendimiento de la producción del maíz (1995-2017).....	99
Figura 41. Principales zonas productoras de limón en Perú .....	101
Figura 42. Distribución distrital de cosechas de Limón de Sechura (%) .....	101
Figura 43. Rendimiento de la producción del Limón (1995-2017) .....	102
Figura 44. Principales departamentos productores de Algodón .....	104
Figura 45. Distribución distrital de siembras de Algodón de Sechura (%).....	104
Figura 46. Rendimiento de la producción del Algodón (1995-2017).....	106
Figura 47. Ubicación del desierto de Sechura y las corrientes marinas frente al norte del Perú .....	107

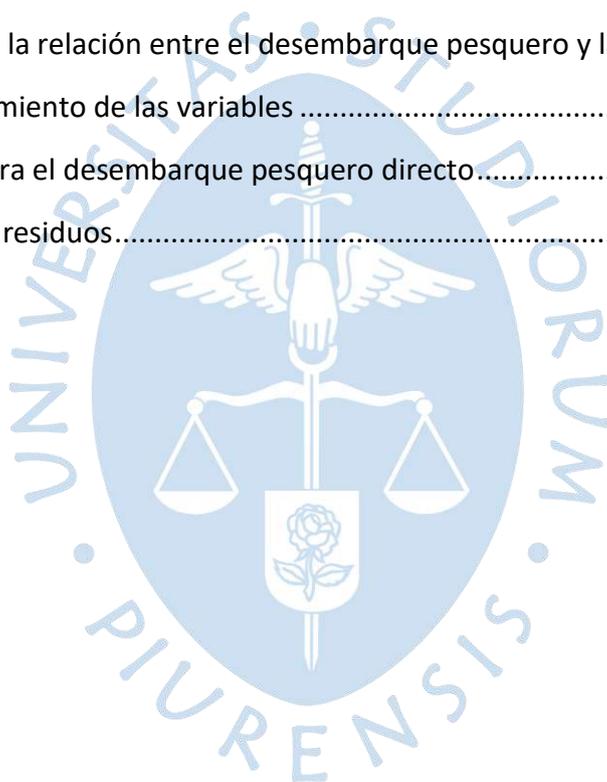
Figura 48. Producción actividad pesquera (TM) - 2015 .....	108
Figura 49. Desembarque de recursos marítimos para CHD en Sechura (TM) .....	110
Figura 50. Principales especies desembarcadas para CHD en la bahía de Sechura. Periodo 2008-2017 .....	110
Figura 51. Desembarque de recursos marítimos para Consumo Humano Indirecto (CHI) en Sechura (TM) .....	111
Figura 52. Desembarque total de recursos marítimos en Sechura (TM) .....	111
Figura 53. Reservas de yacimientos de Bayóvar .....	112
Figura 54. Producción minera por empresa en Sechura (2011-2016) en toneladas métricas .....	112
Figura 55. Categorías del Fenómeno El Niño y La Niña según ICEN .....	125
Figura 56. Reconstrucción de ENSO durante el siglo XVI .....	128
Figura 57. Reconstrucción de ENSO durante el siglo XVII .....	128
Figura 58. Reconstrucción de ENSO durante el siglo XVIII .....	129
Figura 59. Reconstrucción de ENSO durante el siglo XIX .....	129
Figura 60. Reconstrucción de ENSO durante el siglo XX .....	130
Figura 61. Reconstrucción de ENSO durante 1951-2019 .....	130
Figura 62. Ubicación de las estaciones meteorológicas de Piura y Sechura .....	145
Figura 63. Climograma de la estación Bernal (1991-2019) .....	153
Figura 64. Boxplot mensual de la estación Bernal (1991-2019) .....	155
Figura 65. Climograma de la estación Chusis (1991-2019) .....	157
Figura 66. Boxplot mensual de la estación Chusis (1991-2019) .....	159
Figura 67. Climograma de la estación Miraflores (1991-2019) .....	161
Figura 68. Boxplot mensual de la estación Miraflores (1991-2019) .....	163
Figura 69. Climograma de la estación San Miguel (1991-2019) .....	165
Figura 70. Boxplot mensual de la estación San Miguel (1991-2019) .....	167
Figura 71. Climograma de la estación UDEP (1991-2019) .....	169
Figura 72. Boxplot mensual de la estación UDEP (1991-2019) .....	171
Figura 73. Diagrama de barras de las precipitaciones acumuladas mensuales de la estación meteorológica Bernal durante el FEN del 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017 .....	173

Figura 74. Diagrama de barras de las precipitaciones acumuladas mensuales de la estación meteorológica Chusis durante el FEN del 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017 .....	175
Figura 75. Diagrama de barras de las precipitaciones acumuladas mensuales de la estación meteorológica Miraflores durante el FEN del 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017 .....	177
Figura 76. Diagrama de barras de las precipitaciones acumuladas mensuales de la estación meteorológica San Miguel durante el FEN del 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017 .....	178
Figura 77. Diagrama de barras de las precipitaciones acumuladas mensuales de la estación meteorológica UDEP durante el FEN del 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017 .....	180
Figura 78. Serie histórica de la precipitación acumulada mensual de las estaciones .....	181
Figura 79. Serie histórica y tendencia de la precipitación acumulada mensual de la estación Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Migués (Al medio) (1972-2019). Abajo, estación UDEP (1991-2019) .....	182
Figura 80. Serie histórica de la temperatura máxima mensual de la estación Bernal (arriba) y sus tres componentes aditivos (1991-2019) .....	183
Figura 81. Serie histórica de la temperatura máxima mensual de la estación Chusis (arriba) y sus tres componentes aditivos (1991-2019) .....	184
Figura 82. Serie histórica de la temperatura máxima mensual de la estación Miraflores (arriba) y sus tres componentes aditivos (1991-2019) .....	185
Figura 83. Serie histórica de la temperatura máxima mensual de la estación San Miguel (arriba) y sus tres componentes aditivos (1991-2019) .....	186
Figura 84. Serie histórica de la temperatura máxima mensual de la estación UDEP (arriba) y sus tres componentes aditivos (1991-2019) .....	187
Figura 85. Serie histórica de la temperatura máxima mensual de la estación Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Migués (Al medio) (1972-2019). Abajo, estación UDEP (1991-2019) .....	188
Figura 86. Serie histórica de la Temperatura mínima acumulada mensual de la estación Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Miguel (Al medio) y sus tres componentes aditivos (1972-2019). Abajo, estación UDEP y sus 3 componentes (1991-2019) .....	189
Figura 87. Serie histórica de la temperatura mínima mensual de la estación Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Miguel (Al medio) (1972-2019). Abajo, estación UDEP (1991-2019) .....	190
Figura 88. Serie histórica de la Temperatura media acumulada mensual de la estación Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Miguel (Al medio) y sus tres componentes aditivos (1972-2019). Abajo, estación UDEP y sus 3 componentes (1991-2019) .....	192

Figura 89. Serie histórica de la temperatura media mensual de la de la estación Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Miguel (Al medio) (1972-2019). Abajo, estación UDEP (1991-2019) .....	193
Figura 90. Variabilidad interanual de las precipitaciones acumuladas expresada por sus anomalías en estaciones Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Miguel (Al medio) (1972-2019). Abajo, estación UDEP (1991-2019) .....	195
Figura 91. Anomalías de temperatura máxima de la estación en estaciones Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Miguel (Al medio) (1972-2019). Abajo, estación UDEP (1991-2019) .....	197
Figura 92. Anomalías de temperatura mínima en estaciones Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Miguel (Al medio) (1972-2019). Abajo, estación UDEP (1991-2019).....	198
Figura 93. Boxplot mensual de la TSM de la estación Paita (1963-2019).....	200
Figura 94. TSM mensual máxima, media y mínima de la estación Paita (1963-2019) .....	201
Figura 95. TSM máxima, mínima y media de la estación Paita (1985-2014).....	202
Figura 96. TSM de la estación Paita durante los años hidrológicos 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017 .....	203
Figura 97. Temperatura superficial del mar diaria de los años 2017 y 2018 en comparación con la Temperatura superficial del mar diaria del periodo 1985 - 2014.....	204
Figura 98. Descomposición temporal de la serie histórica de la temperatura superficial del mar en Paita durante el periodo 1963 hasta 2019.....	205
Figura 99. Serie histórica de la temperatura superficial del mar de la estación Paita y su tendencia (1991-2019).....	205
Figura 100. Lluvias mensuales en Piura vs Temperatura Superficial del Mar frente a Lobos	206
Figura 101. Modelo empírico de Lluvia mensual vs temperatura superficial del mar .....	206
Figura 102. Modelo empírico de Lluvia mensual en las estaciones vs temperatura superficial del mar de Paita. Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Miguel (Al medio) (1972-2019). Abajo estación UDEP (1991-2019).....	208
Figura 103. Relación de la anomalía de la TSM en Paita con la precipitación registrada en la estación Chusis.....	210
Figura 104. Relación de la anomalía de la TSM en Paita con la precipitación registrada en la estación Bernal.....	210
Figura 105. Relación de la anomalía de la TSM en Paita con la precipitación registrada en la estación Miraflores .....	211

Figura 106. Relación de la anomalía de la TSM en Paita con la precipitación registrada en la estación San Miguel .....	211
Figura 107. Relación de la anomalía de la TSM en Paita con la precipitación registrada en la estación UDEP .....	212
Figura 108. Temperatura máxima, mínima y media del aire y temperatura de punto de rocío °C de la estación Bayóvar (2020).....	216
Figura 109. Humedad Relativa de la estación Bayóvar (2020) .....	216
Figura 110. Precipitación mensual de la estación Cerritos del año 2014 al año 2018 y Precipitación diaria de la estación Cerritos 2020.....	218
Figura 111. Especies arbóreas del bosque seco de la costa norte peruana .....	221
Figura 112. Incremento en el área basal ( $\text{mm}^2$ ) de las poblaciones de Algarrobo a lo largo del tiempo. Líneas verticales indican Eventos El Niño registrados.....	226
Figura 113. Tamaño de anillos en 3 cronologías.....	230
Figura 114. Serie de cordones litorales en la costa del Perú .....	231
Figura 115. Serie de tiempo de las reconstrucciones paleoclimáticas del ENSO .....	240
Figura 116. Selección de anillos en la imagen con programa CooRecorder .....	243
Figura 117. Medición de anillos con programa CDendro.....	244
Figura 118. Análisis de la relación entre el rendimiento del maíz y la precipitación .....	246
Figura 119. Análisis de la relación entre el rendimiento del maíz y temperaturas .....	247
Figura 120. Comportamiento de las variables .....	247
Figura 121. Coeficientes, resumen y ANOVA del modelo para el rendimiento del maíz .....	249
Figura 122. Gráficas de residuos para el rendimiento del maíz en el modelo de regresión .	249
Figura 123. Análisis de la relación entre el rendimiento del limón y la precipitación.....	251
Figura 124. Análisis de la relación entre el rendimiento del limón y temperaturas.....	252
Figura 125. Comportamiento de las variables .....	253
Figura 126. ANOVA para el rendimiento del limón.....	254
Figura 127. Gráfica de residuos.....	254
Figura 128. Análisis de la relación entre el rendimiento del arroz y la precipitación.....	257
Figura 129. Análisis de la relación entre el rendimiento del arroz y temperaturas .....	257
Figura 130. Comportamiento de las variables .....	258
Figura 131. ANOVA para el rendimiento del arroz .....	259

Figura 132. Gráfica de residuos.....	260
Figura 133. Análisis de la relación entre el rendimiento del algodón y la precipitación .....	262
Figura 134. Análisis de la relación entre el rendimiento del algodón y temperaturas.....	262
Figura 135. Comportamiento de las variables .....	263
Figura 136. ANOVA para el rendimiento del algodón.....	264
Figura 137. Gráfica de residuos.....	265
Figura 138. Análisis de la relación entre el desembarque pesquero y precipitación .....	267
Figura 139. Análisis de la relación entre el desembarque pesquero y temperaturas.....	268
Figura 140. Análisis de la relación entre el desembarque pesquero y la anomalía.....	269
Figura 141. Análisis de la relación entre el desembarque pesquero y la TSM .....	269
Figura 142. Comportamiento de las variables .....	270
Figura 143. ANOVA para el desembarque pesquero directo.....	271
Figura 144. Gráfica de residuos.....	271





## Introducción

La ocurrencia del Fenómeno El Niño (FEN) es uno de los principales factores de variabilidad climática con repercusiones a nivel mundial, siendo Perú uno de los países sudamericanos más afectados debido a su posición geográfica y por ser un país que aún se encuentra en vías de desarrollo.

Estudios climáticos señalan que el FEN se ha intensificado en los últimos años, observándose dichos cambios en las alteraciones de temperaturas y el régimen pluviométrico, que desde 1970 se dan más acentuadamente e indican que un FEN intenso como el de 1997-1998, de cierta manera, es precursor de la intensificación de estos eventos a causa del actual cambio climático (Como se señala en el apartado 1.2.3).

En el Perú, los impactos del FEN son más acentuados en la costa norte; sin embargo, hace falta más investigaciones que enfoquen su estudio a entornos áridos, ya que estas zonas se volverán más vulnerables a la desertificación debido al incremento de la población en estas áreas, teniendo implicancias para los medios de vida y la seguridad alimentaria.

La provincia de Sechura es la que tiene más área desértica de todas las provincias que componen la región Piura. Su territorio se emplaza en una zona desértica catalogada como entre árida e hiperárida que sufre importantes cambios ante la ocurrencia de un FEN en su ecosistema marino como en el terrestre y en las actividades productivas con afectación a su población. La mayor parte de sus pobladores tiene como principales actividades económicas la agricultura y pesca, que son impactadas ante un FEN.

Esta combinación de aridez, incremento de vulnerabilidad e impactos del FEN en una provincia como Sechura, en un contexto de cambio climático, hacen que se deba prestar atención al estudio de su variabilidad climática y al impacto de esta sobre sus actividades productivas, para un mayor conocimiento de las mismas, y el planteamiento de posibles escenarios futuros que ayuden a mitigar condiciones adversas generando así resiliencia en la población.

La presente tesis tiene como objetivo principal conformar una base de datos climáticos de diferente tipo de registro (históricos, naturales e instrumentales) de la provincia de Sechura para analizar su variabilidad climática, y su impacto en la población y en las principales actividades productivas como son la agricultura y pesca.

En el capítulo 1 se desarrolla el marco teórico donde se definirán los conceptos previos necesarios para abordar el presente estudio. Se abordarán conceptos relacionados al clima y al Fenómeno El Niño. Así también, se describirán los tipos de registros (históricos, naturales e instrumentales) que se han utilizado para la reconstrucción de eventos El Niño. Por último, se explicarán los aspectos teóricos de las herramientas estadísticas que se aplicarán en la investigación.

En el capítulo 2 se da a conocer las características generales de la provincia de Sechura y los impactos de los últimos eventos El Niño en la región. También se hace una descripción de los principales cultivos de la actividad agrícola y una breve descripción de la actividad pesquera.

En el capítulo 3 se presentan los registros históricos de la reconstrucción de posibles FEN con la mayor retrospectiva posible mediante documentación histórica e histórica-arqueológica, así como publicaciones sobre los nuevos conocimientos del FEN.

En el capítulo 4 se describe la recolección, limpieza y ordenamiento de los datos de precipitaciones y temperaturas máximas, medias y mínimas del aire, obtenidas de estaciones meteorológicas de Piura. Toda aplicación estadística se realizará mediante el uso del código de programación en R. Por último, se presentarán gráficos y su respectivo análisis descriptivo.

En el capítulo 5 se describe el procedimiento que se ha usado para la recolección, limpieza y ordenamiento para generar una base de datos climáticos a partir de registros naturales. Además, se desarrollará una breve guía para realizar un estudio dendrocronológico.

En el capítulo 6 se analizará el impacto de la variabilidad climática sobre las actividades agrícola y pesquera. Con los datos del sector agrícola y pesquero (capítulo 2), respectivamente, y los datos instrumentales del clima (capítulo 4), se realizará un análisis de regresión mediante uso del software Minitab 19 y se complementará con entrevista a expertos.

Finalmente, se presentará los resultados y conclusiones obtenidos a lo largo del desarrollo de la presente tesis, presentando en los apéndices visitas de campo, líneas de tiempo y cuadro de las reconstrucciones históricas.

## Capítulo 1

### Marco teórico

En este capítulo se definen los conceptos relacionados al estudio del clima y el marco teórico del fenómeno El Niño. También se describe la metodología para el análisis climático que se realizará en la presente investigación y el análisis estadístico para analizar el impacto de la variabilidad climática en la agricultura y pesca. Por último, se explica el software R Studio, herramienta utilizada para el análisis climático.

#### 1.1 Conceptos relacionados al estudio del clima

##### 1.1.1 Clima

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) define al clima como el conjunto de condiciones meteorológicas en un lugar determinado, representada por estadísticas a largo plazo de los parámetros meteorológicos en dicho lugar (OMM y UNESCO, 2012).

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014) expone que, en términos sencillos, el clima se suele definir como el estado promedio del tiempo meteorológico. Un concepto más riguroso sería su definición como la descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de los parámetros correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta millones de años. Los parámetros son casi siempre variables de superficie como la temperatura, la precipitación, el viento, etc.

##### 1.1.2 Parámetros meteorológicos

- **Temperatura Máxima:** Es la temperatura más alta registrada en 24 horas (día), generalmente se registra entre las 12 a 16 horas (MINAGRI y SENAMHI, 2013).
- **Temperatura Mínima:** Es la temperatura más baja registrada en 24 horas (día), se registra generalmente entre 05 a 08 horas (MINAGRI y SENAMHI, 2013)
- **Temperatura Media:** Es la temperatura promedio de las 24 horas, o la media entre la máxima y mínima (MINAGRI y SENAMHI, 2013) . En el caso de la presente investigación, se ha tomado la media entre la máxima y la mínima.
- **Humedad Relativa:** Es la cantidad de vapor de agua que contiene una masa de aire, en relación con la humedad máxima absoluta, que podría admitir sin producirse

condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Es expresada en tanto por ciento (%) (MINAGRI y SENAMHI, 2013).

- **Precipitación:** Es la cantidad de agua líquida o hielo que cae desde la atmósfera a la superficie terrestre (MINAGRI y SENAMHI, 2013).
- **Punto de rocío:** La temperatura a la cual se debe enfriar el aire para que el vapor de agua se condense y forme niebla o nubes. A esta temperatura la humedad es del 100% (SENAMHI, 2009).
- **Radiación Solar:** Es la energía que emite el sol mediante ondas electromagnéticas. Esta radiación de onda corta pasa por la atmósfera terrestre y al ser absorbida por la superficie se devuelve en dirección al espacio exterior en forma de radiación de onda larga, con lo cual se transmite calor a la atmósfera (IDEAM, 2014). Se mide en superficie horizontal, mediante el sensor de radiación o piranómetro. La unidad de medida es vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ) (Gobierno de Navarra, s.f.).
- **Presión atmosférica:** Es la presión que ejerce la atmósfera que rodea la tierra (barométrica) sobre todos los objetos que se hallan en contacto con ella. Se debe tener en cuenta que, la presión atmosférica depende de la altura sobre el nivel del mar y las condiciones atmosféricas (CENAM, s.f.).
- **Velocidad del viento:** Mide la componente horizontal del desplazamiento del aire en un instante y espacio determinado. Se mide con un anemómetro y su unidades es m/s (Gobierno de Navarra, s.f.).
- **Dirección del viento:** Es importante conocer esta variable meteorológica, ya que nos indica de dónde procede el viento. Se mide en grados, desde  $0^\circ$  (excluido) hasta  $360^\circ$  (incluido), girando en el sentido de las agujas del reloj en el plano horizontal visto desde arriba. Valores cercanos a  $1^\circ$  y  $360^\circ$  indican viento del norte, cercanos a  $90^\circ$  viento del este,  $180^\circ$  del sur y  $270^\circ$  del oeste (Gobierno de Navarra, s.f.).

### **1.1.3 Normales climatológicas**

Es el valor medio de un parámetro climático durante un período de tiempo. Las normales climatológicas se calculan cada 30 años para periodos de 30 años, por ejemplo, 1901-1931, 1961-1990, 1991-2020 (OMM, 2018). Mientras más actuales las normales, mejor será la exactitud predictiva. El periodo óptimo para las temperaturas es mucho más corto que 30 años, sin embargo, se suele usar este periodo de años; y para la precipitación el periodo mínimo a utilizar es 30 años (OMM, 2018).

### **1.1.4 Cambio climático**

De acuerdo con la OMM, el cambio climático (en adelante CC) es la modificación a largo plazo del clima producida por uno o más factores como cambios internos dentro del sistema climático terrestre, interacción entre los componentes climáticos y/o cambios en fuerzas externas originados por fenómenos naturales o por actividades humanas (OMM y UNESCO, 2012).

El IPCC (2014) lo define como la modificación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos.

Por su parte, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), lo describe como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se añade a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (IPCC, 2014).

Actualmente, el término de cambio climático se usa para referirse al calentamiento global que se viene produciendo en la superficie terrestre como resultado de una mayor acumulación de gases de efecto invernadero (Vargas P. , 2009). Los GEI están conformados por vapor de agua, dióxido de carbono, metano, ozono y óxido nitroso, entre otros gases, los cuales se producen naturalmente y garantizan una temperatura promedio global adecuada para vivir mediante el efecto invernadero (Fundación M. J. B. De La Fuente, 2010).

Sin embargo, a partir de la revolución industrial, las actividades antropogénicas han aumentado el efecto invernadero debido al aumento significativo de emisiones de los GEI a la atmósfera, especialmente de dióxido de carbono y metano. Esto ha desnaturalizado el mecanismo positivo del efecto invernadero transformándolo en un problema que altera la composición de la atmósfera mundial (Vargas P. , 2009), provocando un aumento de la temperatura global (ver Figura 1), que, a su vez, ejerce una influencia significativa sobre el ciclo hidrológico, causando cambios en las condiciones climáticas y meteorológicas en toda la Tierra (Erreis, 2015).



**Figura 1. Variación promedio de la temperatura global superficie-oceano (1951-1980)**

Fuente: Vargas (2009).

Según el IPCC (2014) hay hasta un 95% de certeza de que la causa principal de este calentamiento global se debe a la acción humana. Cuanto más varíe el clima, mayores son los riesgos de impactos graves, generalizados e irreversibles en las personas y los ecosistemas.

### **1.1.5 Variabilidad climática**

Según la OMM, la variabilidad climática (en adelante VC) es la desviación de las estadísticas del clima de un determinado período, que puede ser mensual, estacional o anual, respecto a las estadísticas a largo plazo de dicho período (OMM y UNESCO, 2012).

El IPCC la define como las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. Esta variabilidad puede ser interna, debido a procesos internos naturales del sistema climático terrestre variabilidad interna, o externa, como consecuencia de variaciones del forzamiento externo natural o antropogénico (IPCC, 2014).

En la actualidad, tanto a la VC y al CC se les reconoce como los mayores problemas que la sociedad enfrenta en el siglo XXI. Asimismo, es especialmente difícil separar la definición conceptual de ambos términos en regiones en las que se presenta una fuerte influencia de la VC en las condiciones normales del clima, ya que los problemas de VC dominan sobre los relacionados con el CC durante un período considerable de tiempo (Sedano, 2017).

Las principales escalas temporales de variabilidad climática son: estacional, que hace referencia a fluctuaciones climáticas mensuales (como periodos secos y temporadas de lluvias en el Trópico); interanual, que corresponde a cambios de año a año (como la sucesión de periodos secos suaves seguidos por una temporada de lluvias muy fuerte, fría y prolongada, ej. El Niño/La Niña Oscilación del Sur; o la Oscilación Cuasi Bienal); y escala interdecadal, que describe cambios a nivel de décadas y aunque las oscilaciones son menos notorias, tienen un impacto significativo en las tendencias climáticas (como la Oscilación Decadal del Pacífico) (Sedano, 2017).

Teniendo en cuenta el efecto espacial, las escalas de variabilidad climática son: microescala, la cual abarca precipitaciones convectivas intensas que afectan áreas inferiores a 50 km<sup>2</sup>; los fenómenos de meso escala, que también hacen referencia a procesos convectivos de hasta 2 000 km<sup>2</sup>; los fenómenos sinópticos, que pueden afectar miles de kilómetros como, los ciclones, anticiclones, huracanes y frentes; y los de macroescala, que son fenómenos meteorológicos de gran tamaño (más de 10 000 km de longitud) con duración superior a un mes, dentro de los cuales encajan los eventos de baja frecuencia (interanuales y interdecadales) como, la zona de convergencia intertropical (Sedano, 2017).

### **1.1.6 Climatología**

La climatología es la rama de la geografía que estudia el clima y sus variaciones a lo largo del tiempo. Este ha sido uno de los primeros temas de estudio de la geografía debido a que el clima y las condiciones de la atmósfera están vinculados a diferentes aspectos de la

vida humana, como la actividad agrícola o la prevención de desastres naturales (Raffino, 2020).

El clima tiende a ser regular a largo plazo y obedece a ciclos climáticos puntuales que tienen una influencia decisiva en los rumbos de la vida vegetal y animal en una región determinada. Al mismo tiempo, el clima varía de manera natural, dependiendo de las condiciones geológicas, hidrológicas y atmosféricas, siendo todas estas condiciones objeto de estudio de la climatología (Raffino, 2020).

Es importante distinguir la climatología de la meteorología, así como también diferenciar los términos clima (largo plazo) y el tiempo atmosférico (corto plazo) (Raffino, 2020). Ambas son ciencias fundamentales de la atmósfera que están estrechamente ligadas, la climatología en el estudio del clima (sucesión media o normal de los estados de tiempo) y la meteorología se enfoca en el estudio del tiempo (fenómenos y estado atmosférico actual). Ambas utilizan los mismos parámetros para comprender la naturaleza física del clima, pero con diferentes fines: la climatología para conocer las características climáticas a largo plazo, mientras que la meteorología se ocupa de los fenómenos que ocurren a corto plazo, y especialmente tiene como propósito realizar pronósticos o tendencias futura (Córdova, 2003).

Hay autores que consideran a la climatología como una rama más de la meteorología debido al hecho de que resulta imposible estudiar el clima de cualquier lugar si previamente no se realizan los estudios meteorológicos correspondientes. Sin embargo, con el pasar del tiempo, la climatología ha realizado avances, hasta cierto punto, independientes, superando su tradicional enfoque descriptivo y perfilándose como una ciencia con personalidad propia (Córdova, 2003).

Para la explotación exitosa de evidencias del clima pasado, es necesario el empleo de manera efectiva de la variada gama de habilidades y técnicas de las subdisciplinas especializadas de la climatología (Ingram, Underhill, & Wigley, 1978).

### **Paleoclimatología**

Esta palabra deriva de la raíz griega *paleo*, que significa antiguo y del término clima. El paleoclima se define como el clima que existió antes que el hombre empezará a utilizar instrumentos para su medición (Córdova, 2003).

La paleoclimatología es una subdisciplina de la climatología que se enfoca en el estudio del clima antes del período de mediciones instrumentales. Los registros instrumentales solo abarcan una pequeña parte de la historia climática de la Tierra y, por lo tanto, brindan una perspectiva incompleta sobre la variación climática y la evolución del clima en la actualidad. Al estudiar los fenómenos naturales que dependen del clima e incorporar esta medida dependiente en su estructura, se puede obtener una perspectiva más amplia de la variabilidad climática. Tales fenómenos proporcionan un registro indirecto del clima, y es el estudio de datos indirectos de archivos naturales lo que constituye la base de la paleoclimatología

(Bradley, 2014). A estas huellas creadas durante el desarrollo del clima pasado se les conoce como proxies (Bruckner, 2021).

Utilizando una combinación de diferentes tipos de registros proxies se puede reconstruir el clima del pasado. Estos registros pueden luego integrarse con observaciones del clima moderno de la Tierra y colocarse en un modelo de computadora para inferir el clima pasado y predecir el clima futuro (Bruckner, 2021).

### **Climatología histórica**

Algunas de las fuentes más diversas y valiosas de información del pasado son los registros históricos. Estas fuentes son particularmente importantes ya que se relacionan con fluctuaciones climáticas a corto plazo (alta frecuencia) durante el pasado más reciente. Además, se puede aprender mucho de la probabilidad de que se produzcan sucesos extremos mediante la consulta de los registros históricos, lo que proporciona una perspectiva más realista de la probabilidad de que se produzcan sucesos similares en el futuro (Bradley, 2014).

La climatología histórica es una especialidad de la paleoclimatología que reconstruye episodios meteorológicos extremos y la variabilidad climática a partir de las informaciones contenidas en fuentes documentales históricas. Es un trabajo interdisciplinario con unas especificidades que hacen difícil su encaje académico (I Vallvé, 2006). Esta especialidad es relativamente nueva ya que surgió como disciplina entre finales del siglo XIX y principios del siglo XX, siendo cada vez de mayor interés y recibiendo contribuciones significativas tanto de científicos naturales como de historiadores (Ingram, Underhill, & Wigley, 1978).

La climatología histórica se diferencia, metodológicamente, de la climatología propiamente dicha, cuya principal fuente de información se obtiene de las mediciones instrumentales. También se diferencia de la paleoclimatología, la cual analiza principalmente los parámetros climáticos a partir de indicadores naturales, como los anillos de los árboles, los sedimentos, el polen, etc (Prieto, Rojas, & Castillo, 2018).

#### **1.1.7 Año hidrológico**

Es un período continuo de doce meses que parte del mes en que se observan los valores mínimos del ciclo hidrológico. En el Perú, el año hidrológico se inicia en setiembre y culmina en agosto (Sosa, 2016).

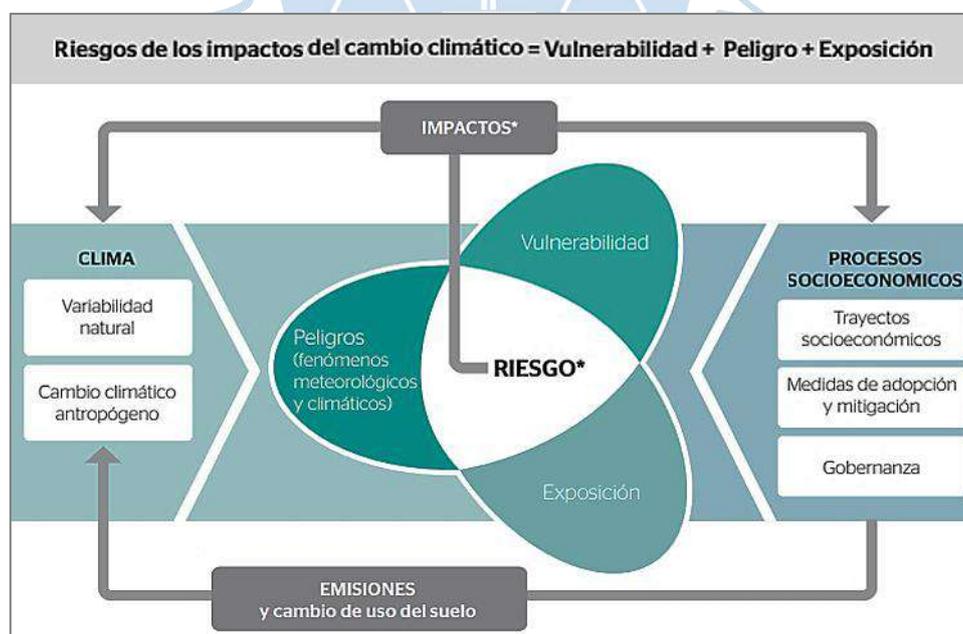
El año hidrológico puede variar de región a región, incluso en un mismo país y cada año puede presentar características particulares debido a los cambios en los patrones de comportamiento de las variables que caracterizan el ciclo hidrológico o a los impactos de la variabilidad climática, eventos que han marcado significativamente el comportamiento de los ríos en el Perú. No coincide necesariamente con el año calendario, el cual inicia el 1 de enero y finaliza el 31 de diciembre del mismo año (Palacios, 2010).

El año hidrológico se establece para intentar reflejar adecuadamente el comportamiento de las precipitaciones sobre una cuenca hidrográfica. En un año natural existen tres periodos en los que pueden producirse precipitaciones extremas: primavera (23 de septiembre a 22 de enero), verano (23 de enero a 22 de marzo) y otoño (23 de marzo a 22 de junio). Si estas han ocurrido en más de un periodo, la consideración de la máxima anual de un año natural puede estar eliminando un dato interesante de otro mes igualmente intenso pero menor, de ahí la importancia de trabajar con años hidrológicos ya que disminuye en cierta medida este tipo de error. Este concepto de año hidrológico es aplicado tanto para el contexto de caudales como de lluvias (Juarez, 2020).

## 1.2 El Cambio climático y la Variabilidad climática en el Perú

### 1.2.1 Condiciones de riesgo ante el CC

El cambio climático contribuye a la formación o la ampliación de condiciones de riesgo en la sociedad. De acuerdo con el IPCC, estas condiciones se dan por la interacción de los peligros derivados del clima con la vulnerabilidad y la exposición de los sistemas humanos y naturales. Como se presenta en la Figura 2, los cambios en el sistema climático (parte derecha del gráfico) como los procesos socioeconómicos, incluidas la adaptación y mitigación (parte izquierda de la imagen), son impulsores de los peligros, exposición y vulnerabilidad (MINAM, 2016).



**Figura 2. Riesgos de los impactos del cambio climático**

Fuente: MINAM (2016).

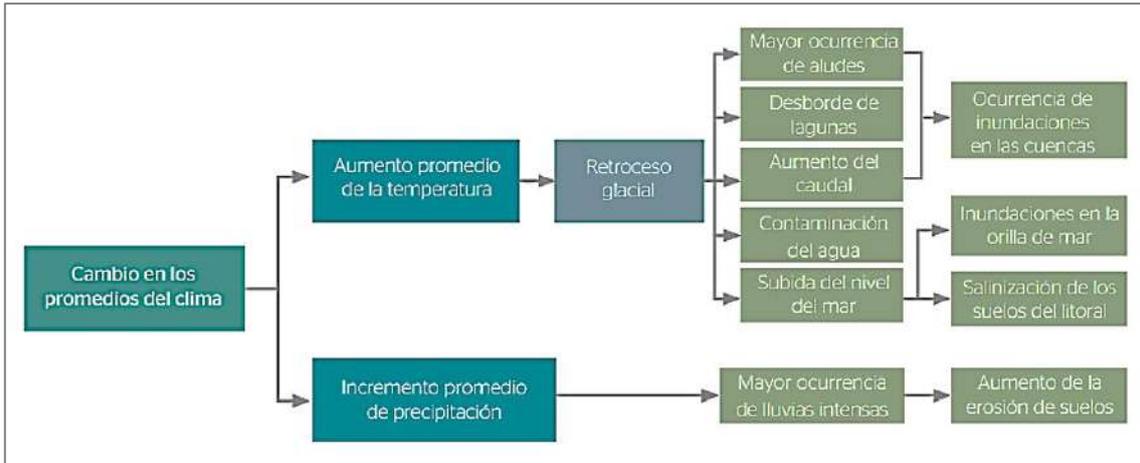
En este contexto, peligro hace referencia a los sucesos o tendencias físicas negativas relacionadas con el clima o los impactos físicos de este; exposición engloba a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios y recursos ambientales, infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales en lugares que podrían verse afectados negativamente; y vulnerabilidad comprende la sensibilidad o susceptibilidad al daño y a la falta de capacidad de respuesta y adaptación, siendo un sistema más vulnerable a medida que mayor sea su grado de afectación por estímulos climáticos (sensibilidad) y que, a su vez, tenga poca o insuficiente habilidad para ajustarse a él (capacidad de adaptación) (MINAM, 2016).

### ***1.2.2 Peligros hidrometeorológico asociados al CC en el Perú***

Los peligros de origen hidrometeorológico relacionados al cambio climático están asociados a las alteraciones en los promedios del clima y de la variabilidad climática. Estos requieren ser medidos a través de índices de eventos extremos y sus tendencias, validados y usados en la comunidad científica; pero también estos pueden ser complementados con el apoyo del conocimiento local y empírico del clima en una zona determinada (SENAMHI, 2020).

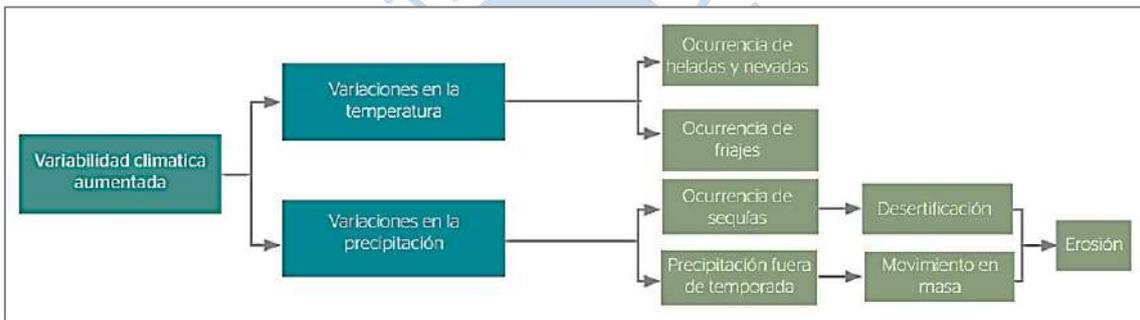
Un clima cambiante produce cambios en la frecuencia, la intensidad, la extensión espacial y la duración de los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, y puede dar lugar a eventos extremos no vistos antes. Algunos fenómenos climáticos extremos, como las sequías, pueden ser el resultado de una acumulación de fenómenos meteorológicos o climáticos que no son extremos, si se consideran por separado. Muchos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos son el resultado de la variabilidad natural del clima, siendo esta un factor determinante de los fenómenos climáticos extremos en el futuro. Así mismo, los cambios en los fenómenos climáticos extremos pueden ser asociados a cambios en la media, varianza o forma de las distribuciones de probabilidad o todas ellas a la vez (SENAMHI, 2020).

En la Figura 3, Figura 4 y Figura 5 se muestran la cadena de efectos de los peligros asociados al cambio climático mediante las relaciones de causalidad entre los efectos del cambio climático y los peligros de origen hidrometeorológico a los que se enfrenta el Perú (MINAM, 2016).



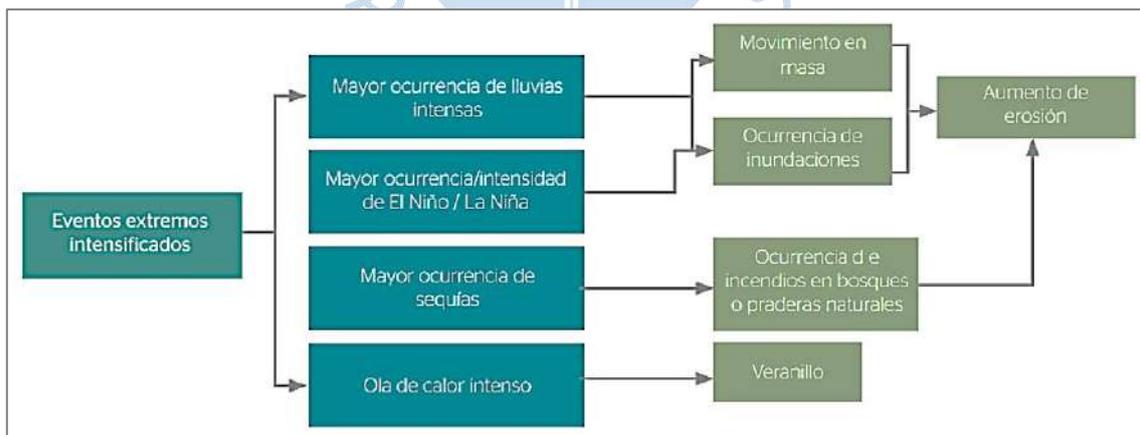
**Figura 3. Cambio en los promedios del clima y sus peligros de origen hidrometeorológico**

Fuente: MINAM (2016).



**Figura 4. Variabilidad climática aumentada y sus peligros de origen hidrometeorológico**

Fuente: MINAM (2016).



**Figura 5. Eventos extremos intensificados y sus peligros de origen hidrometeorológico**

Fuente: MINAM (2016).

### 1.2.3 Impactos del CC y la VC en el Perú

Las variaciones del clima en la costa del Perú en gran medida están determinadas por la presencia de El Fenómeno El Niño (en adelante FEN), el cual causa impactos que afectan la condición de vida de la población (SENAMHI; MINAM, 2014). Durante el desarrollo de este fenómeno se alteran las condiciones meteorológicas del territorio nacional y tiene distintas manifestaciones, algunas de las cuales se resumen en la Figura 6.

En el océano	En la atmósfera
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento de la temperatura superficial y sub-superficial del mar.</li> <li>• Incremento del nivel del mar en la zona de calentamiento.</li> <li>• Disminución del afloramiento de las aguas frías y nutrientes hacia la superficie.</li> <li>• Variación de la salinidad de las aguas costeras.</li> <li>• Incremento del contenido de oxígeno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debilitamiento de los vientos alisios a lo largo de la costa.</li> <li>• Incremento de la temperatura del aire en las zonas costeras adyacentes al mar caliente, y en toda la tropósfera.</li> <li>• Incremento del contenido de humedad en el aire.</li> <li>• Incremento de la nubosidad en la estación de verano y primavera.</li> <li>• Disminución de la presión atmosférica.</li> </ul>

**Figura 6. Efectos de El Niño en el Océano y la Atmósfera de la costa norte del Perú**

Fuente: SENAMHI (2014).

En el 2005, el entonces Consejo Nacional del Ambiente (CONAM), conocido hoy como el Ministerio del Ambiente (MINAM), realizó algunos estudios sobre la vulnerabilidad del Perú ante el cambio climático con información relevante sobre el Fenómeno El Niño. Este estudio indicó que un FEN particularmente intenso como el de 1997-1998 de cierta manera muestra los posibles impactos de un futuro cambio climático ocasionado por la acumulación de GEI en la atmósfera (Fundación M. J. B. De La Fuente, 2010).

A través de un estudio realizado en el 2008, el SENAMHI expuso que en los últimos años la variabilidad climática se ha acentuado debido al cambio climático. Esto se ha observado en el cambio de temperaturas y el régimen pluviométrico, siendo estos cambios en los patrones locales del clima más significativos a partir del año 1970. También señaló posibles impactos del cambio climático sobre diversos sectores productivos y sociales: impactos sobre el ecosistema marino (en la distribución y abundancia de la fauna y flora marinas); impactos en el sector pesca (migración de especies hidrobiológicas); impactos sobre la salud pública (incremento de las enfermedades transmitidas por vectores como la malaria y el dengue); impactos sobre la agricultura (alteraciones en el desarrollo vegetativo, en el rendimiento y la sanidad de los cultivos); impactos en la infraestructura; entre otros (Fundación M. J. B. De La Fuente, 2010).

El cambio climático también representa una creciente amenaza para la seguridad alimentaria<sup>1</sup> y probablemente las más afectadas sean las poblaciones de los países en vías de desarrollo, como lo es el Perú (Nelson, y otros, 2009).

La agricultura es muy vulnerable a los efectos del cambio climático, como por ejemplo el incremento de las temperaturas, que termina por reducir la producción de los cultivos deseados, a la vez que provoca la proliferación de malas hierbas y plagas, o los cambios en los regímenes de lluvias, que incrementan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo. En general, se espera que los impactos del cambio climático sean negativos para la agricultura, amenazando la seguridad alimentaria. La Tabla 1 muestra los efectos directos e indirectos del cambio climático en la agricultura (Nelson, y otros, 2009).

**Tabla 1. Efectos del CC en la agricultura y sus consecuencias en la seguridad alimentaria**

TIPO	EFECTO	CONSECUENCIA
Efectos directos	Incremento de las temperaturas, escasez de agua y degradación de la tierra.	Puede comprometer seriamente la capacidad de la agricultura para alimentar a las poblaciones más vulnerables, ya que pone en peligro la disponibilidad y acceso a los alimentos orientados en su mayoría al consumo familiar y limitando la mejora de los niveles de pobreza y malnutrición.
Efectos indirectos	Incremento de las plagas y enfermedades de las plantas.	En la lucha del hombre contra las plagas se involucran grandes cantidades de pesticidas de alta toxicidad que ponen en riesgo la salud de los agricultores y de los consumidores.

Nota: Adaptado de (Nelson, y otros, 2009).

El retroceso glaciar y la disminución de la disponibilidad de agua también es una amenaza a la seguridad alimentaria. La Autoridad Nacional del Agua (ANA) informó que, en los últimos 50 años, el Perú perdió el 51% de su superficie glaciar debido al cambio climático.

El agua de deshielo de los glaciares juega un papel importante para las sociedades y las economías de todos los países andinos, ya que se utiliza para diferentes consumos. La agricultura andina depende de estas aguas, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas de algunos de los países andinos como Perú. Ante eso, es probable que un descenso de la

---

<sup>1</sup> Situación referente al acceso seguro a cantidades suficientes de alimentos inocuos y nutritivos a las personas para su crecimiento y desarrollo normal, y puedan tener una vida activa y sana (IPCC, 2014).

escorrentía de los glaciares provoque estrés hídrico (UNESCO - GRID-Arendal, 2018) debido a la alteración de los caudales, y esto afecte drásticamente a determinadas zonas, tanto para el acceso a fuentes de agua, hidroenergía y agricultura, como para la conservación de los ecosistemas naturales y en particular la Amazonía, considerada como el pulmón del mundo (MINAGRI - ANA, 2008). Por ello, es necesario adaptarse a estas dificultades, mediante una mejor infraestructura para la gestión del agua, el refuerzo de las instituciones y la planificación de una gestión integrada y participativa de los recursos hídricos (UNESCO - GRID-Arendal, 2018).

El deshielo de los glaciares provoca el crecimiento de los caudales de los ríos que alimentan (cada año se derrite una cuota de lo acumulado en hielo), pero cuando se acabe el hielo acumulado caerán drásticamente los caudales en periodos estivales. Esto a su vez, cambiaría el régimen del río y, si no se toman medidas preventivas, como por ejemplo la realización de pequeños reservorios en partes altas, causaría un fuerte impacto negativo en la agricultura y otros usos del agua en el valle bajo, donde la principal actividad productiva de la población es la agricultura.

El mapa de la Figura 7, muestra otros impactos del cambio climático en algunos departamentos del Perú.



Figura 7. Impactos negativos del cambio climático en el Perú

Fuente: <https://www.servindi.org/actualidad/99300>

Como se ha visto, Perú es un país que presenta zonas vulnerables por diversas condicionantes. Según un estudio del Centro Tyndall para Investigaciones Climáticas de la Universidad de Mánchester (2003), Perú es el tercer país más vulnerable del mundo ante los peligros climáticos. El mismo estudio actualizado en el 2007, siguió colocando al Perú entre los 20 países más vulnerables (Fundación M. J. B. De La Fuente, 2010).

El MINAM (2013), a través de la Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos, presentó en el “Informe Balance de la Gestión Regional frente al Cambio Climático en el país: Avances, logros, dificultades, retos y oportunidades” los sectores, ecosistemas y grupos humanos vulnerables frente al cambio climático. Los sectores vulnerables priorizados fueron agricultura, pesca y los sistemas de recursos hídricos para distintos usos (factor que además condiciona el desarrollo de la actividad agrícola), así como el sector salud. Los grupos humanos vulnerables priorizados fueron las poblaciones rurales ligadas a la agricultura familiar de subsistencia y con débil articulación al mercado (muchas de ellas organizadas en comunidades campesinas o nativas); y los pescadores artesanales. Los ecosistemas vulnerables priorizados fueron los montañosos andinos, los forestales, los amazónicos y los marinos costeros, teniendo muchos de ellos como eje común y articulador al agua (MINAM, 2016).

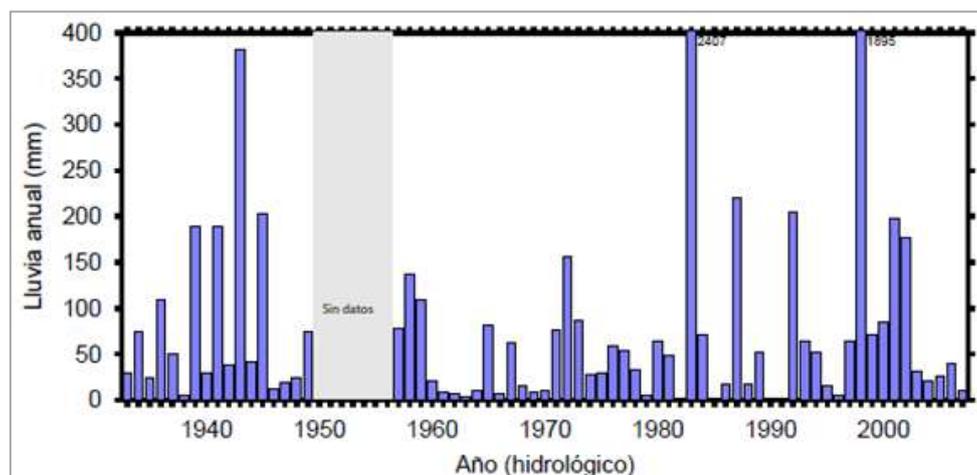
#### ***1.2.4 Impactos del CC y la VC en la costa norte***

En el estudio regional para Piura acerca de los efectos del cambio climático sobre la climatología local, realizado por el SENAMHI (2008), se demostró que en los últimos 30 años el régimen de lluvia ha cambiado, con un incremento del valor total anual de lluvias entre 5% a 35%, y un aumento del número de días consecutivos sin lluvias (periodo con déficit de lluvias) próximo al 50% en las zonas andinas. Según las proyecciones climáticas, estas tendencias son crecientes y configuran un escenario donde las lluvias serán más intensas en un lapso menor de tiempo, y la probabilidad de presentarse períodos de déficit al inicio del ciclo anual es alta (Fundación M. J. B. De La Fuente, 2010).

En el estudio también se observó una tendencia positiva en el comportamiento de la temperatura que se traduce en un incremento del orden próximo a 1°C en las zonas andinas y mayor a 1°C en localidades costeras de Piura. Las proyecciones indicaron un probable incremento del valor medio de la temperatura en todas las estaciones, así como los valores de las temperaturas más extremas (10 % más bajos y 10 % más altos). Otra observación del estudio demostró que, en zonas altoandinas, el riesgo de la ocurrencia de heladas agrometeorológicas o bajas temperaturas se ha incrementado en la última década. Como conclusión de dicho estudio, el SENAMHI expuso que esta variabilidad climática impactará en la agricultura y en la disponibilidad estacional del agua, con más agua en períodos concentrados y más días de sequía o estiaje, y con la presencia de temperaturas más acentuadas en sus extremos con períodos de heladas que dañarán los cultivos y altas

temperaturas que afectarán a cultivos sensibles al calor (Fundación M. J. B. De La Fuente, 2010).

Según un estudio del Instituto geofísico del Perú (IGP), el promedio de precipitaciones en la ciudad de Piura, incluyendo solo años de El Niño “normales” es de 60 mm anuales, por ello considera que en el año 1983 fue aproximadamente el equivalente a 40 años precedentes, las lluvias acumuladas llegaron a 2 400 mm (Woodman & Takahashi, 2014). En la Figura 8 se muestra la variación del acumulado anual de lluvias en la ciudad de Piura desde el año 1932.



**Figura 8. Lluvia anual (mm) en la ciudad de Piura (año hidrológico= setiembre-agosto)**

Fuente: Woodman y Takahashi (2014).

Cada FEN es distinto y trae consigo efectos en el clima que impactan en la población. El FEN de 1972-1973 por ejemplo, produjo un gran colapso en la industria pesquera del país y efectos similares en el mundo. Así también, el año 1925, las temperaturas en el mes de marzo excedieron en 8 °C lo normal, sin embargo, llovió la mitad que El Niño del año 1983, principalmente por la diferencia en la duración de los eventos (Woodman & Takahashi, 2014).

Por otro lado, según datos del SENAMHI (2014), en el Niño de 1982-1983 la ciudad más afectada fue Piura y se presentaron pérdidas de 11.6 % del PBI anual. Así también, afirma que, El Niño de 1997-1998 tuvo como principales ciudades en las que se manifestó a Piura y Tumbes. Según el SENAMHI, algunas estaciones costeras de Miraflores, Talara y Tumbes presentaron un incremento de 2 000% y lluvias intensas en Lambayeque y Lima. Además, ese año presentó daños estimados en US\$ 3 500 millones, equivalentes a 6.2% del PBI anual (SENAMHI; MINAM, 2014).

Un reporte del IPCC (2013) presentó resultados de simulaciones mediante modelos climáticos. Se simularon escenarios con distintos niveles de probabilidad acerca de la variabilidad del ENOS en el futuro y se expuso que: hay alta confianza en que el ENOS continuará siendo el modo dominante de variabilidad interanual con influencias globales en el siglo XXI y, debido a cambios en la disponibilidad de humedad, la variabilidad de la lluvia en

escalas regionales inducida por el ENOS se intensificará; hay confianza media en que los patrones de teleconexión inducidos por el ENOS se desplazarán hacia el este sobre el Pacífico norte y América del Norte; y hay baja confianza en los cambios en la intensidad y patrón espacial de El Niño en un clima en calentamiento (Takahashi K. , 2014).

En resumen, es incierto que la variabilidad en temperatura asociada al FEN será mayor o no en el futuro. Pero, aún si esto no ocurre, el calentamiento medio haría a El Niño más cálido aún y también es probable que las lluvias asociadas a El Niño sean más intensas debido a la mayor humedad del aire. De ser cierto, los impactos de El Niño en la costa norte podrían ser más intensos en el futuro (Takahashi K. , 2014).

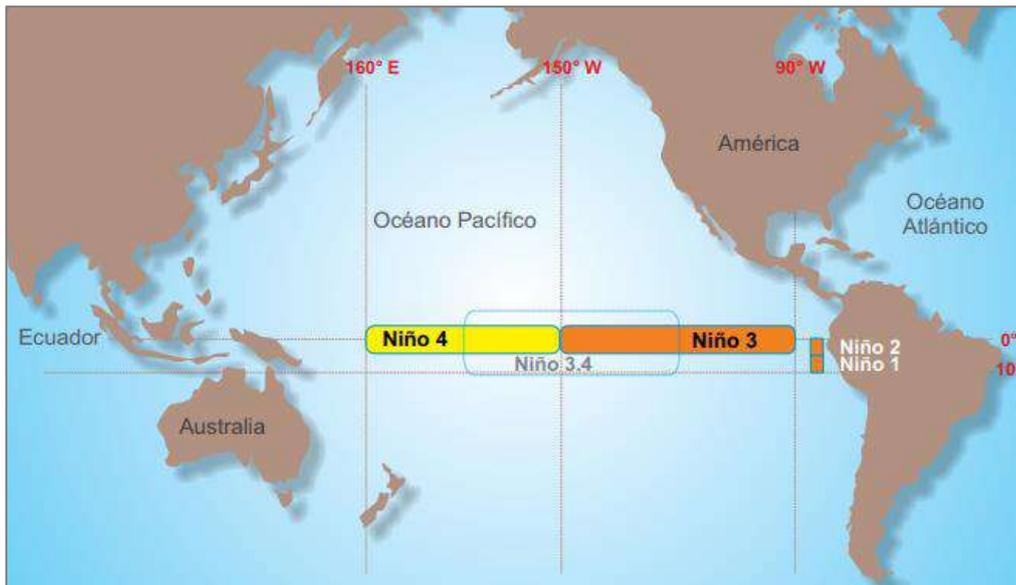
Según Ramos (2015):

A pesar de todas las incertidumbres existentes con respecto a los cambios proyectados de El Niño en el futuro, se estima que el aumento en la humedad atmosférica posiblemente producirá un aumento en la intensidad de los eventos de lluvia extrema asociados a El Niño, aun cuando este último no cambie. Además, el incremento de lluvia durante El Niño sobre el Pacífico Ecuatorial-Central podría intensificarse debido a que la barrera de convección atmosférica se reducirá. Esto significa que la atmósfera será más inestable o la Temperatura crítica ( $T_{crit}$ ) disminuirá en esta zona. Sin embargo, así como la TSM promedio aumentará, también la  $T_{crit}$  lo ha venido haciendo y continuará según la mayoría de los escenarios climáticos. Por lo tanto, la intensidad de la lluvia durante El Niño dependería del efecto combinado de ambos incrementos en el cambio total.

Las proyecciones para la costa del Perú aún son dudosas dado que casi todos los modelos sufren de errores persistentes para esta región en la simulación del clima presente. La comunidad científica internacional ha progresado poco en la solución, en parte por la complejidad del problema, pero también por ser temas de relativamente baja prioridad para los demás países. Es esencial que en el Perú se desarrolle la investigación científica básica de alto nivel requerida para atacar estos problemas que impiden contar con información confiable sobre el cambio climático y El Niño en nuestro país (Takahashi K. , 2014).

### **1.3 Fenómeno El Niño (FEN)**

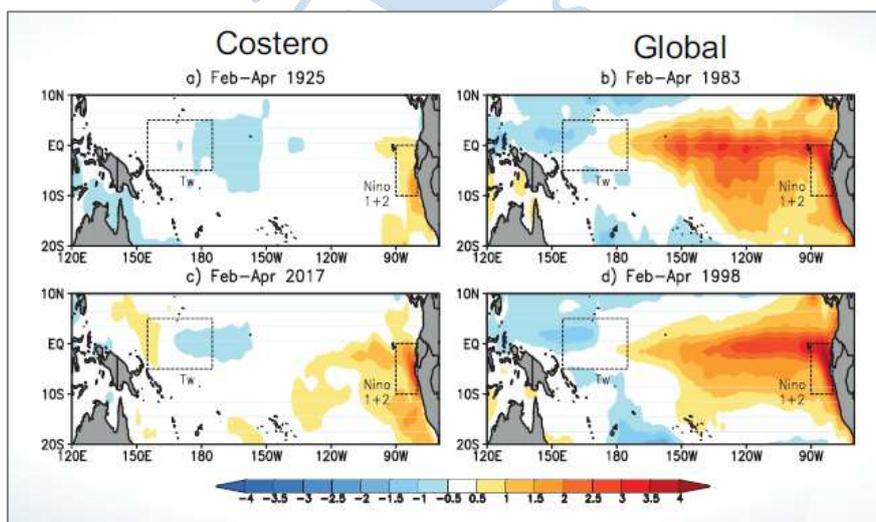
Antes de definir este fenómeno, se deben tener en cuenta las zonas en las que se ha dividido el Pacífico ecuatorial, las cuales han sido utilizadas para monitorear el FEN. Se ha centrado la atención en la evolución de la temperatura de la superficie del océano pacífico y los vientos en esa zona. Los científicos han sectorizado las zonas en cuatro cuadrantes, Niño 3, Niño 4, Niño 1 y Niño 2. Así también, en el centro se identifica la zona Niño 3.4. Ver la Figura 9.



**Figura 9. Regiones del Océano Pacífico Ecuatorial para observación de los vientos, la TSM y las precipitaciones asociadas al FEN**

Fuente: SENAMHI (2014).

Según Takahashi (2017), El Niño tiene un concepto confuso y ambiguo, ya que es un evento multidimensional que cada vez se presenta de distinta manera. Sin embargo, Perú maneja un concepto de El Niño distinto al del resto del mundo, por lo cual actualmente se hace la distinción entre El Niño Costero y El Niño Global. En la Figura 10 se muestran el gráfico de Fenómeno El Niño Global y Costero, así como las anomalías de temperatura de la superficie del mar durante los principales FEN de los últimos cien años: los eventos “El Niño costero” de a) 1925 y c) 2017, y los eventos “ENOS cálido” de b) 1983 y d) 1998.



**Figura 10. Gráfico de Fenómeno El Niño Global y Costero**

Fuente: Takahashi, K (2017).

En el marco internacional, en las décadas de los 20 y 30, Gilbert Walker estuvo a cargo del servicio meteorológico de la India, donde había la preocupación por cómo se desarrollaría cada año un monzón <sup>2</sup>, para lo cual recolectó datos climáticos de todo el mundo (Takahashi K. , 2014). Pero es hasta el año 1929 que se dio a conocer, el oceanógrafo Bearlage, quien tenía las cronologías realizadas por Eguiguren en el año 1894, reportó correlación de dicha cronología con el índice Oscilación Sur. Más adelante, Bjerknes en 1969 establece el concepto de “El Niño-Oscilación Sur” (ENOS), la cual en su fase cálida puede ser llamada El Niño Global (Takahashi K. , 2017).

En Perú, en el año 1892 Carrillo menciona por primera vez el termino El Niño, debido a que se presentaba después de la Pascua de Navidad, la cual era llamada “Corriente El Niño (Takahashi K. , 2017). Este fenómeno recién se hizo conocido en la comunidad científica gracias a un artículo de Murphy en el año 1926, donde se describe el Niño de 1925, es en este artículo donde se da origen al concepto Fenómeno El Niño (Takahashi K. , 2014).

### **1.3.1 El Niño-Oscilación Sur o Niño Global**

La BBC Mundo (2011), explica lo siguiente:

Es un fenómeno climático que genera estragos a nivel mundial, una de las áreas más afectadas es América del Sur, Indonesia y Australia. Vientos alisios soplan de este a oeste en la superficie Océano Pacífico, alejan las aguas de Sudamérica en dirección a Australia e Indonesia. En la atmósfera el viento circula en dirección opuesta. El mar recibe gran calor, el cual aumenta la temperatura de la superficie del mar y las aguas templadas se desplazan hacia el oeste por los vientos alisios para formar nubes de lluvia en Indonesia y Australia mientras que en Perú y Ecuador ocurren sequías. Sin embargo, con el fenómeno de El Niño, ocurre una caída en la fuerza de los vientos alisios y el sistema de circulación se detiene, entonces, las aguas templadas se mueven hacia las costas de Sudamérica, causando precipitaciones en Perú y Ecuador mientras que en Australia e Indonesia ocurren sequías (ver la Figura 11).

Cabe mencionar que SENAMHI da otra denominación al ENOS, tomando el nombre de “El Niño en el Pacífico Central”, con la finalidad de marcar diferencias con El Niño Costero y así evitar confusiones. Toma este nombre debido a que se refiere al calentamiento que se da en la región 3.4 del Pacífico Central (Martínez & Takahashi, 2017).

En general, el calentamiento del Pacífico central produce alteraciones en la circulación atmosférica planetaria, por consiguiente, pueden alterar el clima de muchos países del mundo, incluyendo Perú. A estas alteraciones climáticas que se producen fuera de las zonas del Pacífico Tropical se les denomina “teleconexiones”, y se pueden dar en zonas muy lejanas como Sudamérica y la India. Así, por ejemplo, en el evento El Niño de 1997-1998 fue uno de

---

<sup>2</sup> Lluvias estacionales asociadas a vientos del Océano Índico.

los más cálidos presentados en dicha zona y trajo consigo el incremento de lluvias en la costa norte del Perú (Martínez & Takahashi, 2017).

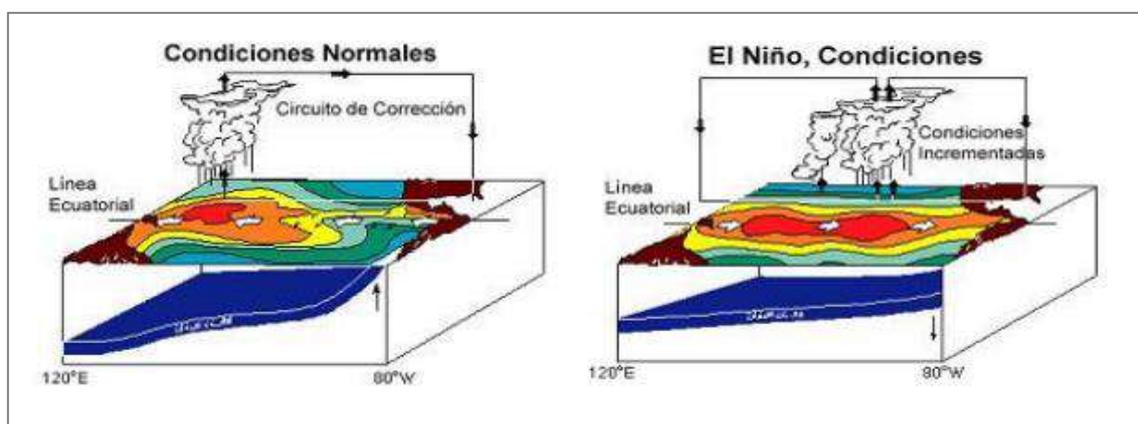


Figura 11. Condiciones océano – atmosféricas normales y durante la ocurrencia de un FEN

Fuente: (MINEDU) <http://www.minedu.gob.pe/campanias/pdf/triptico-web.pdf>

### 1.3.2 Niño costero

Según IMARPE (2013):

"El Niño costero" es un evento climático que está relacionado a la presencia de aguas anómalamente cálidas en forma persistente durante varios meses en la región del Océano Pacífico, principalmente a lo largo de la costa norte del Perú y de Ecuador. En algunos casos las aguas cálidas pueden extenderse hacia la costa central y sur del Perú. Este evento puede estar asociado a lluvias muy fuertes durante el verano en las zonas de la costa norte e inclusive de la costa central, así como a impactos en el ecosistema marino peruano, dependiendo de su magnitud y persistencia.

Ken Takahashi (2017), en un boletín del IGP describió una característica importante en el Pacífico Oriental, la existencia de una banda zonal conocida como Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). En esta zona convergen los vientos alisios del noreste y sudeste. Estacionalmente esta franja se desplaza al norte y sur, siguiendo la ubicación de las aguas más cálidas. También agregó, que durante los eventos FEN costeros, la banda sur de la ZCIT es más intensa, mientras que la banda del Norte puede desaparecer, enfriándola a través de la evaporación, a la vez que la TSM aumenta. En la Figura 12 se puede visualizar el esquema del mecanismo de retroalimentación WES que lleva de (a) una situación ideal simétrica, pasando por una situación de inicial y asimetría (b), hasta (c) una situación asimétrica máxima en el plano latitud-altitud en el Pacífico oriental (IGP, 2017).

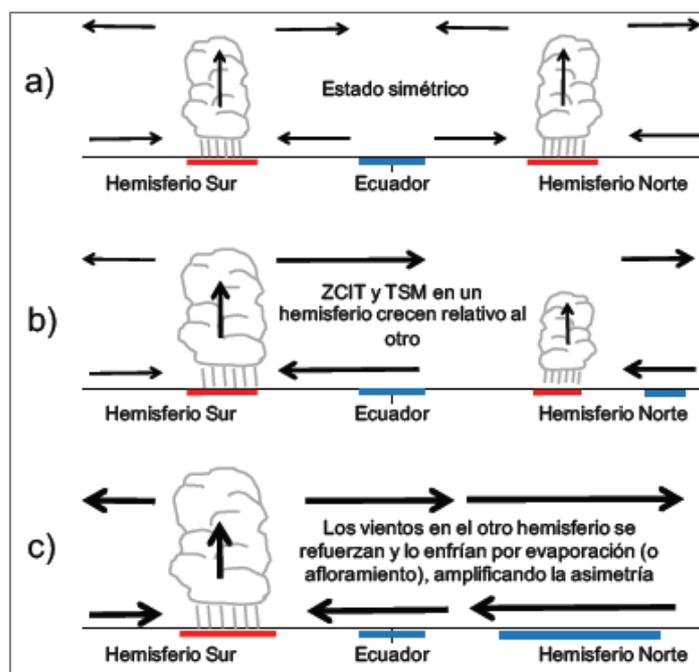


Figura 12. Mecanismo atmosférico durante un El Niño Costero

Fuente: IGP (2017).

Según Takahashi y Martínez, la terminología de “El Niño costero” fue introducida formalmente por la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) en el año 2012 (Martínez & Takahashi, 2017).

Este término respondió a la necesidad de precisar las definiciones y conceptos que por años han generado confusión entre los ciudadanos y autoridades peruanas.

Según ENFEN, “El término Niño Costero se refiere a cuando la temperatura superficial del mar trimestral en la región Niño 1+2 frente a nuestra costa norte excede su promedio en más de 0,4°C por tres o más meses consecutivos” (Martínez & Takahashi, 2017).

Sin embargo, los grados de confusión son variables entre los usuarios de ambos conceptos. El FEN del presente año 2017 fue catalogado por los medios, el gobierno, y el público en general como “El Niño costero”, ya que el calentamiento se fue solo en la costa. Mientras que el FEN de 1997-1998 fue tanto “El Niño costero” como “El Niño en el Pacífico central” y el FEN de 1925 fue “El Niño costero” y “La Niña en el Pacífico central” simultáneamente (Martínez & Takahashi, 2017).

### 1.3.3 Tipos de El Niño

El concepto que se maneja en el Perú y el resto del mundo sobre el fenómeno El Niño no es el mismo debido a que esta última década estas manifestaciones no han coincidido.

En el estudio desarrollado por Takahashi et al. (2014) se detectó dos variedades del FEN; es decir, dos formas diferentes en las que el fenómeno se desarrolla: el Niño Modoki y el

Niño Canónico. Sin embargo, algunos eventos no tienen las características de estas variantes de El Niño, los cuales se denominan eventos Niño Extraordinarios.

- **Niño Canónico:** De acuerdo con una publicación del IGP en el año 2014, se menciona un estudio de Rasmusson y Carpenter, la cual fue publicada en 1982. Este estudio describe la evolución típica de un evento El Niño, este se iniciaba con la fase “pico” que corresponde a un calentamiento en la costa del Perú entre los meses de marzo a mayo y se desplazaba hacia el oeste (Takahashi K. , 2014). Luego, en la fase “madura”, entre los meses diciembre-febrero, ocurría un calentamiento máximo en el Pacífico Oriental, sin embargo, en la costa del Perú este era menor (Takahashi K. , 2014). Mark Cane en el año 1983 dio el nombre de Canónico cuando el Niño presenta propagación hacia el oeste (Takahashi K. , 2014).
- **Niño Extraordinario:** En el año 1982 se inició un evento distinto donde no se presenta una fase “pico” precursora, cabe resaltar que ese año debido a distintas situaciones y limitaciones no se pudo obtener medidas por parte de la comunidad científica internacional (Takahashi K. , 2014).
- **Niño Modoki:** También es conocido como El Niño falso o del Pacífico Central. Este tipo de eventos presentan poca señal en la costa del Perú (Takahashi K. , 2014). Además, presenta escasos efectos en las temperaturas del mar, del aire y lluvias. Sin embargo, pueden causar impactos remotos en el Perú y el mundo.

En la Figura 13 y Figura 14 se muestran estas variedades en sus fases pico y fase madura respectivamente, para diferentes variedades de eventos El Niño: “extraordinarios”, “canónicos” y “modoki”. Se indica el año de los eventos promediados. Se debe tener en cuenta que en 1982 no hubo calentamiento en la costa durante esta fase, el observado en el promedio se debe solo al año 1997.

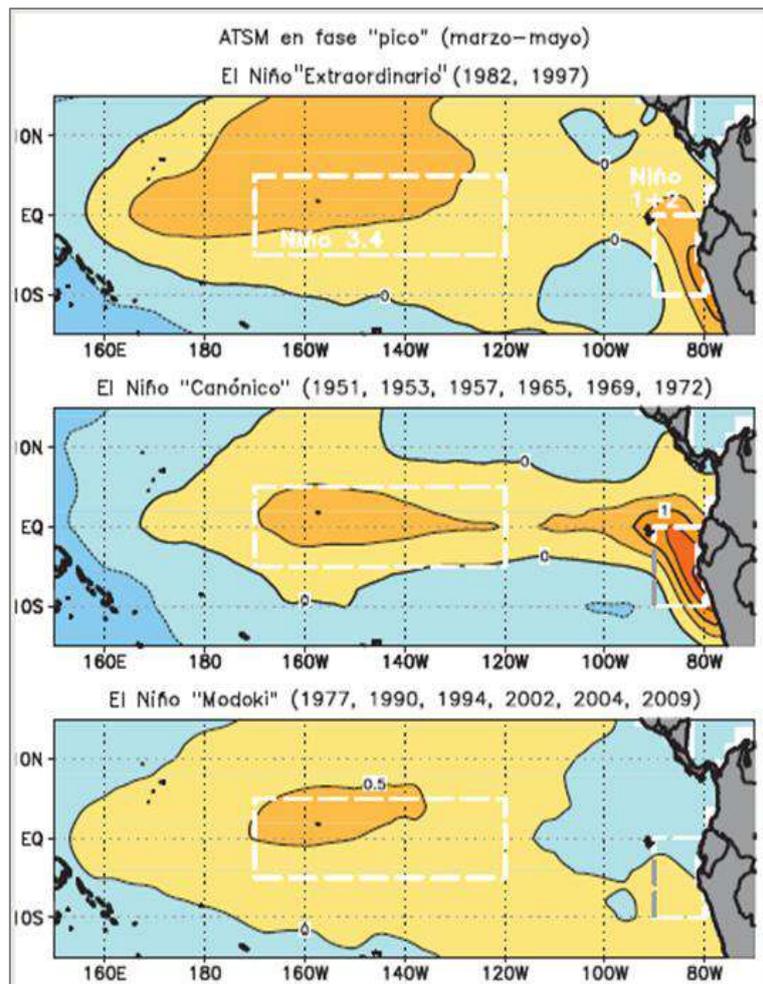


Figura 13. Patrones de anomalía de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) en la fase "pico" (marzo-mayo)

Fuente: Takahashi, K (2014).

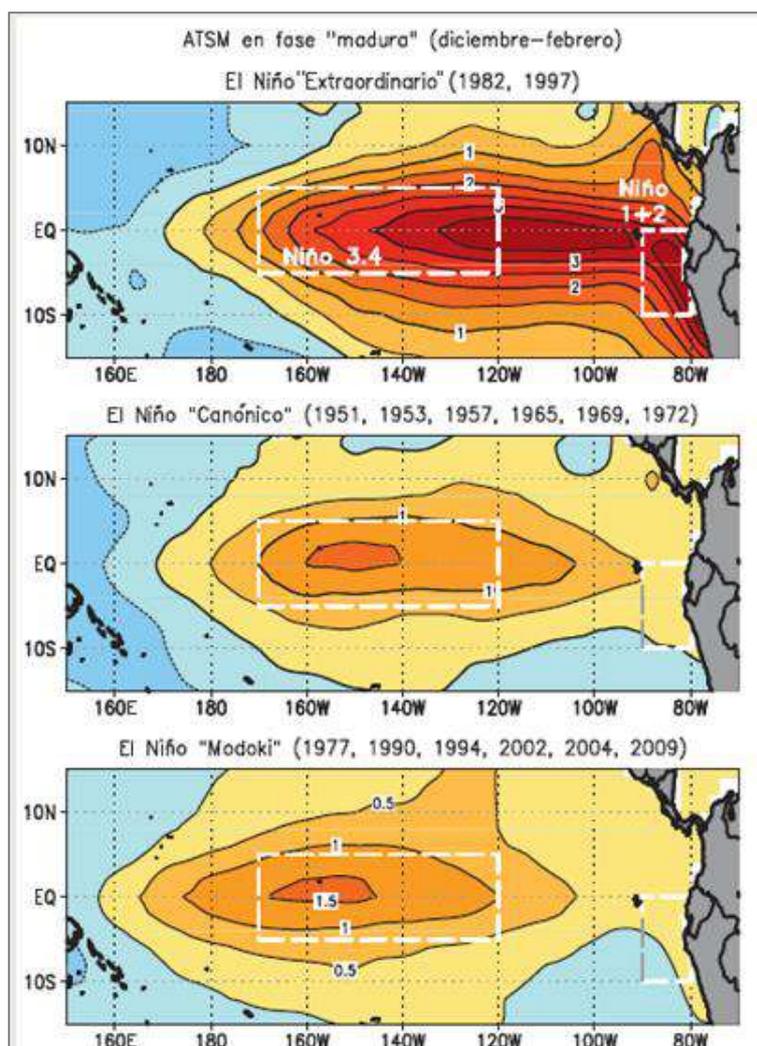


Figura 14. Patrones de anomalía de TSM (°C) en la fase "madura" posterior (diciembre-febrero)

Fuente: Takahashi, K (2014).

#### 1.3.4 Registros del FEN en el Perú

Establecer una cronología de las ocurrencias del fenómeno El Niño a lo largo del tiempo es de gran importancia para los investigadores que estudian esta variabilidad climática para entender la diversidad del comportamiento de sus eventos y la magnitud de sus impactos.

El registro climático instrumental de manera sostenida en el Perú se ha dado a partir de 1965, año en el que se instalaron varias estaciones meteorológicas e hidrológicas (SENAMHI, 2014). Sin embargo, además del monitoreo y modelado de los parámetros océano-atmosféricos, la comprensión general de El Niño requiere una reconstrucción detallada de sus ocurrencias anteriores.

Existen diversas publicaciones que cuentan testimonios con relación a la ocurrencia de este fenómeno desde mediados del siglo XVI (SENAMHI, 2014). Complementario a estas fuentes, están las reconstrucciones paleoclimáticas de diversos orígenes, las cuales brindan información que permite extender los registros de la ocurrencia de estos eventos con mayor retrospectiva. A este conjunto de fuentes que permiten estudiar las condiciones climáticas del pasado, se les conoce como registros paleoclimáticos (Palacios, 2010).

Un estudio realizado por José Macharé y Luc Ortlieb (1993) presentó un esbozo de la variación en extensión de las diferentes fuentes utilizadas para identificar eventos interpretables como El Niño, representado en la Figura 15. Para cada fuente se muestra la extensión probada (línea continua) y probable (líneas punteadas). Como se puede apreciar, si bien los datos instrumentales son los más precisos, son los que presentan información del pasado más limitada, mientras que los datos obtenidos de los cordones litorales han llegado a evidenciar información con una extensión de hasta 10 000 000 años (Macharé & Ortlieb, 1993). Cabe resaltar que el análisis de las fuentes está restringido a aquellos que se han estudiado o están en curso de estudio en el Perú.

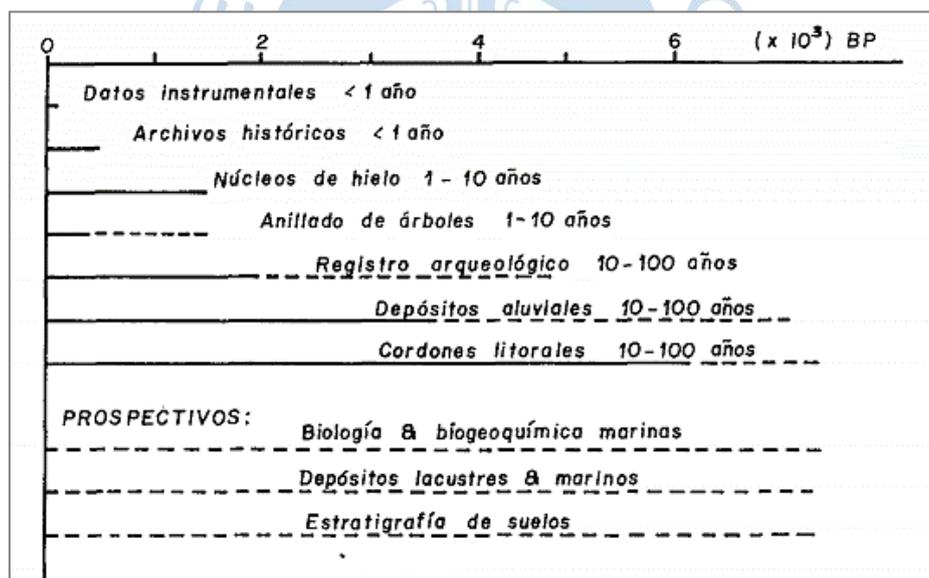


Figura 15. Fuentes de registro de los eventos El Niño

Fuente: Macharé & Ortlieb (1993).

Dicho estudio también destacó el nivel de empleo de dichas fuentes en las investigaciones realizadas en el Perú, siendo las más utilizadas los datos instrumentales, archivos históricos, núcleos de hielo y cordones litorales; parcialmente explotados los restos arqueológicos, depósitos de inundación y anillo de árboles; y de muy baja exploración los de sedimentos lacustres y marinos, depósitos de guano, entre otros (Macharé & Ortlieb, 1993).

### 1.3.5 Clasificación de registros del FEN

Así como existen diversos tipos de evidencias para lograr una reconstrucción del clima en el pasado, existen diferentes clasificaciones. Una de ellas se muestra en la Figura 16, presentada en el estudio de Ingram et al. (1978), donde la evidencia climática pasada se divide principalmente entre la evidencia que se encuentra en el medio natural y la documentada. Estas categorías se pueden superponer ya que interactúan entre sí.

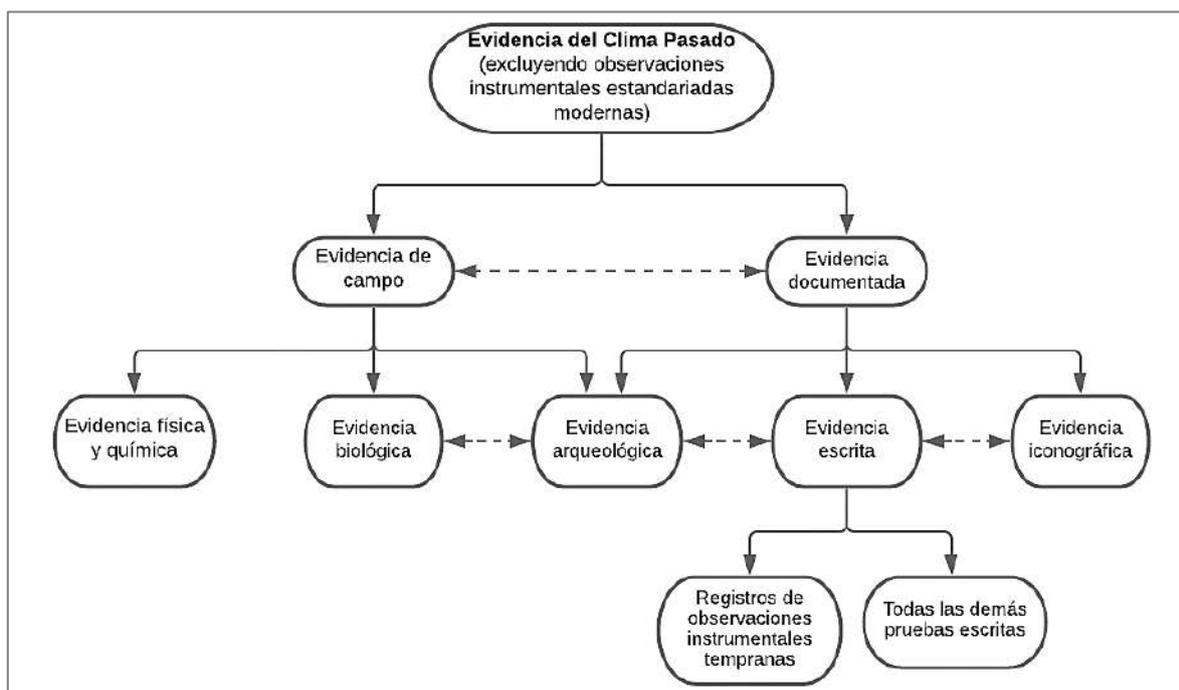


Figura 16. Diagrama de flujo con datos útiles para reconstruir climas pasados

Fuente: Ingram, Underhill & Wigley (1978).

Otra categorización es la de Pfister (1999), quien categorizó la evidencia documentada en información directa e indirecta (ver Tabla 2). La primera se basa en observaciones directas de diferentes parámetros meteorológicos (temperatura, precipitación, capa de nieve, distribución del hielo marino, etc.) mediante descripciones narrativas, y de mediciones instrumentales tempranas, como por ejemplo informes escritos de anales, memorias y crónicas, informes meteorológicos diarios, correspondencia personal y oficial, diarios de viaje, registros económicos, fotografías, folletos, periodismo temprano, cuadernos de navegación de barcos, etc. La segunda son referencias indirectas a indicadores físicos y biológicos del medio ambiente las cuales se incluyen de forma más o menos sistemática en las fuentes narrativas, ya que muchos observadores eran muy conscientes de que sus registros incluyeron un sesgo subjetivo (Brázdil, Pfister, Heinz, Von Storch, & Luterbacher, 2005).

En comparación con los primeros que están limitados por la actividad del observador, los datos documentales indirectos se obtienen principalmente de registros administrativos como por ejemplo el inicio de actividades agrícolas (la cosecha de cereales o de vid, la producción agrícola, rendimiento de los viñedos). También se incluye el tiempo de congelación y apertura de puertos marítimos o vías navegables interiores, o el de ceremonias religiosas, o el tiempo de navegación necesario para viajes de rutina. En esta segunda categoría además se encuentran los registros epigráficos de tiempo extremo, como por ejemplo inundaciones, los cuales incluyen inscripciones y marcas en piedras, rocas, puentes o edificios, y pueden contener datos esporádicos o registrados de forma continua (Brázdil, Pfister, Heinz, Von Storch, & Luterbacher, 2005).

**Tabla 2. Evidencias para reconstruir el tiempo y el clima pasados**

Información	Natural		Hecho por el hombre	
			Observada	Medida
<b>Observación directa</b> del tiempo y clima, o <b>medición instrumental</b> de parámetros meteorológicos			<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anomalías</li> <li>▪ Peligros naturales</li> <li>▪ Situaciones meteorológicas</li> <li>▪ Clima diario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Presión barométrica</li> <li>▪ Temperatura</li> <li>▪ Precipitación</li> <li>▪ Indicador de agua, etc.</li> </ul>
	<b>Referencias indirectas:</b> (Proxy data) Indicación de procesos controlados o afectados mediante parámetros meteorológicos	<b>Orgánico</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anillos de árboles</li> <li>▪ Polen fósil</li> <li>▪ Restos de animales y plantas</li> <li>▪ Madera fósil (árboles), etc.</li> </ul>	<b>No Orgánico</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Núcleos de hielo</li> <li>▪ Varvas</li> <li>▪ Sedimentos terrestres</li> <li>▪ Temperaturas de los pozos</li> <li>▪ Morrenos, etc.</li> </ul>	<b>Orgánico</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fenología de la planta</li> <li>▪ Rendimiento de la vid</li> <li>▪ Tiempo de grano y cosecha de la vid</li> <li>▪ Contenido de azúcar del vino, etc.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Cultural:</b> rogaciones (celebraciones agrícolas cristianas)</li> </ul>				
<b>▪ Pictórico</b>				<b>▪ Epigráfico</b>
			Material:	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Restos arqueológicos</li> </ul>

Nota: Adaptado de Brázdil, Pfister, Heinz, Von Storch & Luterbacher (2005).

Para la presente investigación se clasificarán los registros según la naturaleza de las fuentes, como se presenta en la Tabla 3, siendo los registros históricos y naturales, registros paleo-climáticos. También se detallan y limitan las fuentes que se analizarán de cada registro.

**Tabla 3. Clasificación de los registros del FEN y sus respectivas fuentes seleccionadas para la investigación**

Tipo de registro	Descripción	Fuentes		Investigación
Registros Históricos	Comprenden toda fuente escrita en la que haya registrado lluvias anómalas y hechos relevantes relacionados al FEN.	Documentación histórica Documentación histórica-instrumental Documentación prehistórica – arqueológica		Recopilación de documento sobre posibles ocurrencias del FEN en el pasado y reconstrucciones cronológicas.
Registros Naturales	Abarcan a los diferentes tipos de indicadores o proxies (paleo datos) que permitan reconstrucciones de condiciones ambientales pasadas que evidencien la ocurrencia y magnitud de los eventos FEN.	Registros Biológicos	Anillos de árboles	Recopilación de datos dendrocronológicos en la zona norte de Piura.
Registros instrumentales	Se consideran a los datos obtenidos por los sensores de estaciones meteorológicas.	Estaciones meteorológicas	Datos instrumentales	Recopilación de datos de temperatura mínima, temperatura media, temperatura máxima, precipitación acumulada y TSM en la zona norte de Piura.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se explicará lo que abarcará cada registro desde un punto teórico.

**1.3.5.1 Registros históricos.** En la época en la que se carecía de instrumentos para medir los parámetros climáticos, las sociedades transmitían mediante escritos la ocurrencia

de catástrofes naturales, siendo muchos los casos coincidentes respecto a la singularidad de la anomalía y la calidad de suceso nunca experimentado antes (Prieto, Rojas, & Castillo, 2018).

Una de las características de las observaciones históricas es que tienden a centrarse en eventos extremos en lugar de promedios climáticos y que no suelen contener información meteorológica relevante para todos los meses de un período en cuestión. Aun así, la evidencia documental es uno de los pocos tipos disponibles que puede registrar inundaciones severas, huracanes, y otros desastres naturales. En consecuencia, su análisis permite investigar la relación entre las variaciones del clima, y la frecuencia y gravedad de los eventos extremos. Otra característica es que suelen ser discontinuas a lo largo del tiempo, por eso rara vez se pueden encontrar en forma de series de tiempo consistentes y relativamente largas registradas para una ubicación en particular. Debido a ello, las fuentes documentales generalmente se recopilan a nivel local, regional y nacional (National Research Council, 2006).

Cuando se trabaja con fuentes documentales se debe tener en cuenta que pueden existir trampas, ya que en algunos casos los escritos no tenían como principal objetivo la descripción del clima lo que pone en duda su confiabilidad (Ingram, Underhill, & Wigley, 1978). También es necesario evaluar si una fuente es contemporánea, es decir, si los autores presenciaron los eventos que describen o si estos eventos al menos ocurrieron durante su vida. Las observaciones que son copiadas de otros documentos o compilaciones, con frecuencia suelen mostrar errores de transcripción en las fechas de las observaciones, lo cual puede acabar en una multiplicación espuria de cierto evento (Brázdil, Pfister, Heinz, Von Storch, & Luterbacher, 2005).

El uso de evidencia documental para la reconstrucción climática se vio afectado con el inicio de las mediciones instrumentales, ya que fuentes tradicionales de climatología histórica, como las fuentes institucionales, diarios o periódicos, comenzaron a desvanecerse. Las primeras mediciones instrumentales sustituyen frecuentemente a estas fuentes y este hecho dificulta la posibilidad de encontrar un período de superposición relativamente largo entre la evidencia documental y los datos instrumentales. Sin embargo, la existencia de tal período de superposición es crucial para los cálculos de calibración y verificación. Como consecuencia, a menudo no ha sido posible cuantificar la solidez de los datos proxy documentales. A pesar de ello, estos datos se han utilizado y desempeñado un papel importante en las reconstrucciones climáticas (Brázdil, Pfister, Heinz, Von Storch, & Luterbacher, 2005). Una de sus funciones más valiosas es proporcionar una verificación cruzada de reconstrucciones basadas en otros registros proxy, como anillos de árboles. Todos estos datos proxies deben calibrarse con mediciones instrumentales en la medida posible (National Research Council, 2006).

En un estudio temprano sobre Climatología Histórica, Ingram et al. (1978) expusieron que la evidencia documentada (ver Figura 16) relacionada al estudio del clima del pasado puede abarcar:

- **Evidencia escrita:** como registros instrumentales tempranos y otras fuentes escritas. En general, se puede incluir como evidencia documentada las inscripciones antiguas, crónicas, registros de la administración pública y del gobierno (ya sea imperial, nacional, provincial o local), registros patrimoniales privados, registros marítimos y comerciales, papeles personales (diarios, correspondencia, etc.), escritos científicos y protocientíficos (incluidos los diarios de observaciones meteorológicas no instrumentales), entre otros.
- **Evidencia arqueológica:** como restos arqueológicos e historia cultural. Esta evidencia puede revelar cómo las sociedades y los ecosistemas han respondido a la variabilidad climática en el pasado, mostrando que las respuestas de la sociedad no se podrían haber predicho de antemano y que las adaptaciones exitosas a las nuevas condiciones climáticas dependían de las buenas o malas decisiones que tomaran las personas (National Research Council, 2006).
- **Evidencia iconográfica:** como los temas representados mediante imágenes, cuadros, monumentos, etc.

Los datos documentales descriptivos tienen sus ventajas y limitaciones. Las principales ventajas son que suele existir un buen control de la datación y alta resolución temporal; hay una clara distinción de los elementos meteorológicos en los informes narrativos (por ejemplo, temperatura, precipitación, capa de nieve, viento, etc.); se centran en anomalías y desastres naturales; en conjunto, pueden cubrir todos los meses y estaciones. Por otro lado, los inconvenientes que suelen presentar son por la estructura discontinua de los registros debido a la muerte de los observadores; el sesgo por las percepciones selectivas de los observadores; el análisis matemático es simple pero robusto, sin embargo, esto puede ser un inconveniente para la aceptación de los resultados en la comunidad científica (Brázdil, Pfister, Heinz, Von Storch, & Luterbacher, 2005).

**1.3.5.2 Registros naturales.** Los registros naturales consisten en materiales geológicos y biológicos que conservan la evidencia de cambios climáticos pasados. Estos materiales contienen sustancias o características que se pueden muestrear y analizar utilizando una variedad de métodos físicos y químicos. A través de estos análisis, los científicos reconstruyen los cambios a través del tiempo y los utilizan para inferir patrones de cambio climático y ambiental en el sitio de la muestra. Cuando se combinan varias reconstrucciones individuales, proporcionan una imagen del cambio climático regional y global a lo largo del tiempo (USGS, 2021).

El período de tiempo que se conserva en un material determinado varía, al igual que la resolución con la que se puede analizar. Algunos materiales pueden proporcionar registros climáticos de resolución centenaria a milenaria que cubren colectivamente gran parte de la historia de la Tierra, mientras que otros proporcionan registros relativamente cortos que pueden resolver la variabilidad climática mensual o interanual (USGS, 2021).

## Registros Biológicos

- **Anillos de los árboles:** los árboles pueden crecer durante cientos o miles de años y pueden contener información del clima durante siglos o milenios. En regiones templadas donde existen cambios acentuados entre estaciones, los árboles producen generalmente un anillo cada año; registrando, de esta manera, las condiciones climáticas por años (Córdova, 2003). Esto permite determinar cuánto tiempo vivió el árbol, y también registran cambios en la temperatura y precipitación, así como cambios más localizados como incendios, ataques de insectos y terremotos. Los cambios en el ancho de sus anillos, densidad, y composición isotópica dependerá de la humedad del suelo, la temperatura y otras condiciones de crecimiento (USGS, 2021).
- **Corales:** los corales masivos que viven cerca de la superficie del mar producen bandas de densidad anual de carbonato de calcio que se pueden muestrear y utilizar para reconstruir registros climáticos mensuales al examinar su composición geoquímica (National Research Council, 2006). Los científicos analizan la composición química de cada banda para reconstruir registros mensuales, anuales y más largos de la temperatura y la salinidad. A pesar de que los corales pueden preservar registros paleoclimáticos relativamente cortos, su capacidad para proporcionar resolución de tiempo mensual y estacional permite la reconstrucción de fenómenos de relativamente corto plazo como los eventos de El Niño y La Niña que ocurren en escalas de tiempo de años y décadas (USGS, 2021).
- **Fósiles de polen:** diferentes clases de plantas producen granos de polen con diferentes formas distintivas. Estos granos de polen se encuentran a menudo bien preservados en las capas de sedimento que se forman en el fondo de los estanques, lagos u océanos. Un análisis de los granos de polen formados en cada capa brinda información sobre qué tipos de plantas estaban creciendo en el momento que el sedimento fue depositado. De esta manera, pueden hacerse deducciones sobre el clima basadas en los tipos de plantas encontrados en cada capa (Córdova, 2003).
- **Sedimentos terrestres y marinos:** el sedimento se deposita en capas en lagos, humedales, estuarios, océanos y en la tierra. Se pueden analizar de diversas formas: las laminaciones o capas de sedimentos pueden indicar la velocidad de sedimentación a lo largo del tiempo; el carbón atrapado en los sedimentos puede indicar incendios pasados; los restos de organismos como diatomeas, foraminíferos, microbiota y polen dentro del sedimento pueden indicar cambios en el clima pasado, ya que cada especie tiene un rango limitado de condiciones habitables, lo que ayuda a inferir el cambio climático debido a la composición de estas especies dentro del sedimento (Bruckner, 2021). Los registros sedimentarios recolectados a través de afloramientos geológicos o de extracción de muestras representan el registro paleoclimático más estudiado (USGS, 2021).

## Registros Geológicos

- **Cordones litorales:** los cordones litorales constituyen acumulaciones sedimentarias lineares de extensión variable, que se forman generalmente detrás de línea de marea alta, a menudo a raíz de una serie de eventos de alta energía litoral como por ejemplo tempestad, marejada, subida del nivel marino durante el fenómeno El Niño. Es común observar secuencias de varios cordones en las costas progradantes recientes, así como en algunas terrazas marinas del Cuaternario. Las series de cordones holocenos pueden ser fechadas por radiocarbono, ofreciendo la posibilidad de reconstituir sucesiones de fenómenos repetitivos y condiciones ambientales en el transcurso de los últimos milenios. Estos depósitos litorales formados por cantos, gravas, y/o arena suelen contener restos de moluscos que además de ser útiles para su fechamiento, proveen distintas informaciones en relación con paleoambientes sedimentarios y rasgos geográficos costeros antiguos, así como a condiciones paleoceanográficas y paleoclimáticas (Díaz & Ortlieb, 1991).
- **Núcleos de hielo:** los científicos taladran las capas de hielo, las cuales se han ido acumulando en montañas y zonas polares durante cientos y miles de años, para extraer muestras con el fin de fechar sus secuencias estratigráficas e interpretar el clima del pasado mediante los residuos de polvo, burbujas de aire e isótopos de oxígeno (Córdova, 2003). La proporción de isótopos de oxígeno en el hielo puede indicar la temperatura en el momento en que el hielo se depositó como nieve, y las burbujas de aire se pueden analizar para medir las concentraciones de dióxido de carbono y metano en el momento en que las burbujas quedaron atrapadas en el hielo (USGS, 2021).

### Extensión en el tiempo de los registros naturales

Los límites de tiempo establecidos por los científicos para los datos obtenidos a partir de las fuentes naturales se pueden observar en la Tabla 4.

**Tabla 4. Extensión en el tiempo de los registros paleoclimáticos**

Tipo de archivo	Unidad	Extensión
Glaciales de latitudes medias	Año	10 000
Anillo de árboles	Año	14 000
Depósitos de coral	Año	100 000
Capas de hielo polar	Año	100 000
Sedimentos en lagos	Año	1 000 000
Rocas sedimentarias	Año	10 000 000
Fósiles de polen	10 años	10 000 000
Sedimentos oceánicos	100 años	10 000 000

Nota: Adaptado de Rodríguez y Fernández (2009).

**1.3.5.3 Registros Instrumentales.** Según, Macharé y Ortlieb, los registros instrumentales comprenden archivos de datos de parámetros físicos de la atmósfera y océano, tales como, presión, temperatura, precipitación, entre otros. En el Perú, estos archivos se conservan en instituciones como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), el Instituto del Mar (IMARPE), la Dirección de Hidrografía y Navegación Marina (DHNM) (Macharé & Ortlieb, 1993).

Según el SENAMHI (2013):

Las estaciones meteorológicas, agrometeorológicas e hidrológicas son instalaciones destinadas a medir y registrar diversas variables meteorológicas e hidrológicas en lugares seleccionados bajo las normas técnicas de la OMM y del SENAMHI. Dicha información recolectada es utilizada en la definición del estado de tiempo, clima y agua.

Las estaciones meteorológicas se pueden clasificar en dos, las convencionales y las automáticas. Las estaciones meteorológicas convencionales son aquellas que hacen observaciones de superficie, equipadas con instrumentos de lectura directa o registros. Las medidas de las variables se realizan de forma manual o en forma mecánica en un gráfico de registro. Por otro lado, una estación meteorológica automática (EMA) o hidrológica (EHA) cuentan con sensores que registran las variables hidrometeorológicas y las almacenan en una plataforma que se encarga de recolectar los datos, simultáneamente estos datos se transmiten en tiempo real o cuasi real<sup>3</sup> (SENAMHI, 2013).

Cabe resaltar que las estaciones meteorológicas juegan un papel importante en la agrometeorología<sup>4</sup>. Esto porque es fundamental conocer los efectos del clima durante la operación agrícola, las cuales pueden afectar de forma desfavorable o favorable (MINAGRI y SENAMHI, 2013).

El SENAMHI opera, controla y mantiene la Red Nacional de más de 900 Estaciones Meteorológicas e Hidrológicas, las cuales están acorde a las normas técnicas de la OMM (SENAMHI, 2013).

Entre ellas, cuenta con 4 tipos de estaciones:

- **Estación Meteorológica Convencional:** Las cuales presentan datos como Temperatura (°C) máxima y mínima, humedad relativa (%), precipitación (mm/día).
- **Estación Meteorológica Automática:** Presenta datos como Temperatura (°C), Precipitación (mm/hora), humedad (%), dirección del viento y velocidad del viento.
- **Estación Hidrológica Convencional:** Registra nivel del Río en m.

---

<sup>3</sup> Transmisiones que se efectúan en tiempo diferido <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39778>

<sup>4</sup> Es la rama de la meteorología dedicada al estudio de las variables meteorológicas y climáticas, así como su influencia en las actividades agrícolas. <http://repositorio.minagri.gob.pe:80/jspui/handle/MINAGRI/496>

- **Estación Hidrológica Automática:** Esta estación registra datos como el nivel del Río en m y precipitación (mm/hora).

Existen otras clasificaciones dentro de las estaciones meteorológicas de acuerdo con los fines para los que fueron instaladas y las variables que registran, estas pueden ser las siguientes (MINAGRI y SENAMHI, 2013).

- **Estación Meteorológica Agrícola Principal (MAP):** Son estaciones climáticas donde se registran y observan tanto variables meteorológicas como variables biológicas relacionadas con la con la biomasa natural, agricultura (cultivo, plagas, características físicas e hídricas del suelo, etc.), ganadería y forestal (MINAGRI y SENAMHI, 2013).
- **Estación Meteorológica Climatológica Principal (CP):** Son estaciones climáticas donde se registran y realizan observaciones de todas las variables meteorológicas, incluyendo la temperatura del suelo a diferentes niveles (MINAGRI y SENAMHI, 2013).
- **Estación Meteorológica Climatológica Ordinaria (CO):** Son estaciones donde se realizan observaciones meteorológicas de las variables: temperatura (incluye las temperaturas extremas), precipitación, evaporación, viento, humedad, brillo solar, nubosidad y visibilidad (MINAGRI y SENAMHI, 2013).
- **Estación Pluviométrica:** Estación constituida únicamente por un pluviómetro, donde se realiza las observaciones de la lluvia precipitada durante el día.
- **Estación Meteorológica de Propósito Específico (PE):** Estas estaciones son instaladas para casos específicos, cuyos instrumentos meteorológicos responderán al trabajo o estudio que se desea realizar, por un tiempo determinado (MINAGRI y SENAMHI, 2013).

De la red de estaciones que existe en Perú, SENAMHI cuenta con 20 estaciones en el departamento de Piura, de las cuales 2 pertenecen a la ciudad de Sechura y son del tipo meteorológica convencional y del tipo climatológica ordinaria. Existen otras instituciones que cuentan con estaciones, tales como Universidad de Piura (UDEP).

Algunas de las variables de observación y medición en las estaciones son:

- **Temperatura del aire:** Se determina con un termómetro para la temperatura máxima y mínima del aire u otro instrumento de igual o mayor exactitud como el termógrafo o un sensor de estación automática (SENAMHI, 2013).
- **Temperatura del suelo:** Se mide con geotermómetros<sup>5</sup> y esta debe ser registrada continuamente a 5, 10, 20, 50, 100 cm de profundidad (SENAMHI, 2013).
- **Presión atmosférica:** Se determina con un barómetro digital con 0.1 hPa de exactitud. También se puede medir con barómetros de mercurio, sin embargo, la OMM no lo recomienda por considerarse un elemento peligroso (SENAMHI, 2013).

---

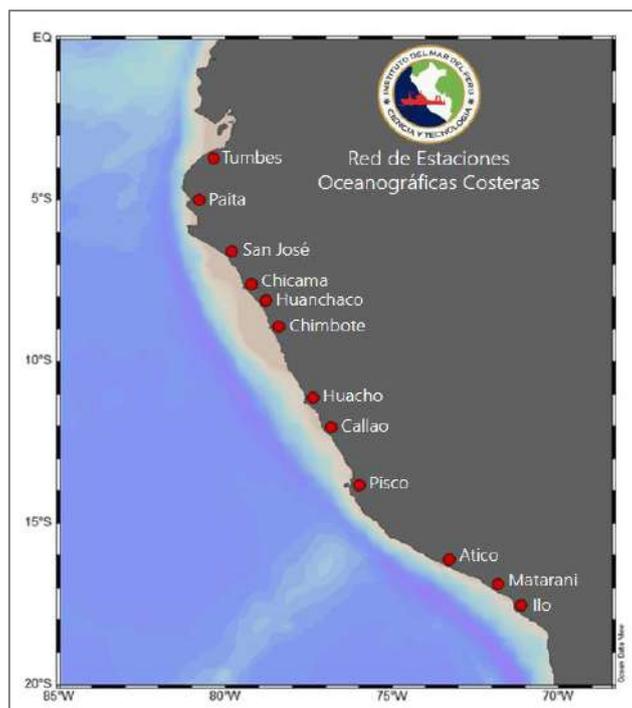
<sup>5</sup> Termómetros de mercurio en cápsulas de vidrio.

- **Humedad del aire:** Se mide a través de la lectura de un psicrómetro u otro instrumento como un hidrógrafo, las medidas de humedad se deben efectúa a una altura de 1.60m sobre el nivel del suelo y dentro de la caseta meteorológica (SENAMHI, 2013).
- **Humedad del suelo:** Se determina midiendo el contenido o el potencial de agua en el suelo, a través de métodos como el tensiómetro, el de bloques de resistencia eléctrica y el psicrómetro del suelo (SENAMHI, 2013)
- **Viento:** En superficie se mide con veletas, anemómetros y anemógrafos de cubetas o de hélice. La velocidad se expresa en m/s y la dirección en grados sexagesimales. En altitud el viento se mide con una sonda de radio viento, las magnitudes son medidas por sensores de la sonda mientras dura el ascenso del globo y son transmitidas a la estación (SENAMHI, 2013).
- **Precipitación:** Se mide con pluviómetros, la boca de este debe quedar a 1.20 m sobre el nivel del suelo. La intensidad de la precipitación de expresa en milímetros por hora (SENAMHI, 2013).
- **Temperatura del punto de rocío:** Es la temperatura a la que tiene que llegar el aire para que la humedad relativa sea 100%. Se mide a través de la lectura de un psicrómetro.

Por otro lado, la temperatura superficial del mar se mide de dos formas. La primera es llamada *in situ*, es decir mediciones directas y se realizada desde barcos o boyas usando termómetros (Takahashi K. , 2017). Este tipo de medición tiene la ventaja de ser directas, pero más limitadas, ya que son datos de lugares puntuales. La otra forma son mediciones satelitales, las cuales son radiaciones emitidas por la superficie del mar en rangos infrarrojo y microondas (Takahashi K. , 2017). Tienen una excelente cobertura espacial y temporal, pero tienen la limitación de que las estimaciones pueden ser afectadas por las condiciones atmosféricas, particularmente la presencia de lluvia, nubes y vapor de agua. Además, pueden existir discontinuidades cuando se reemplaza un satélite por otro (Takahashi K. , 2017).

En la práctica, para poder producir mapas completos y continuos en el tiempo de la TSM, se combina la información *in situ* y satelital mediante técnicas estadísticas o modelos numéricos que permiten completar los vacíos y corregir los posibles errores en las diferentes mediciones (Takahashi K. , 2017).

IMARPE es la entidad encargada de medir variables del mar y cuenta administra una red de estaciones oceanográficas en el litoral peruano, la cual comprende 12 estaciones Tumbes, Paita, San José, Chicama, Huanchaco, Chimbote, Huacho, Callao, Pisco, Atico, Matarani e Ilo (IMARPE, 2013). Estas estaciones presentan datos de anomalías, temperatura superficial del mar, salinidad superficial del mar, entre otros En la Figura 17 se muestra la ubicación de la red de estaciones en el Perú.



**Figura 17. Mapa de ubicación de estaciones oceanográficas en Perú**

Fuente: (IMARPE, 2013).

## 1.4 Análisis climático

### 1.4.1 Caracterización climática

Caracterizar el clima de una región, zona o localidad implica realizar un análisis exploratorio de las características más importantes del comportamiento climático sobre una escala espacial y temporal. Se suele usar datos observados en superficie (datos de estaciones meteorológicas), información de comunidades de plantas, indicadores geomorfológicos (asociados a la forma de la superficie terrestre) y otras fuentes de información (modelos climáticos globales y regionales, satélites ambientales y meteorológicos, entre otros) para posteriormente generar la información climática (SENAMHI, 2020).

**1.4.1.1 Estimación de datos faltantes.** Los datos faltantes son muy frecuentes y por diversas razones, por ejemplo, por fallas en los instrumentos o ausencias del observador (Farías de Reyes, 2005). Para completar los datos faltantes son estimados en base a registros de estaciones cercanas.

El mejor método de estimación sigue siendo objeto de controversia, el método universal no existe, sino que, en función de las características territoriales y de los datos disponibles, unos pueden funcionar mejor que otros dependiendo de los lugares y circunstancias (SENAMHI, 2016).

A continuación, se presentan algunos métodos para completar datos faltantes que han sido dados por la UNESCO y diversas investigaciones.

### Método del U.S. National Weather Service

Este método estima la precipitación en un punto como un promedio ponderado de otras cuatro estaciones, cada una colocada en un cuadrante delineado por los ejes norte, sur, este, oeste, como se ilustra en la Figura 18 (Farías de Reyes, 2005). El peso, en una cantidad "W", que se le da a cada estación es igual al recíproco del cuadrado de la distancia entre la estación X y las estaciones A, B, C, D (Farías de Reyes, 2005).

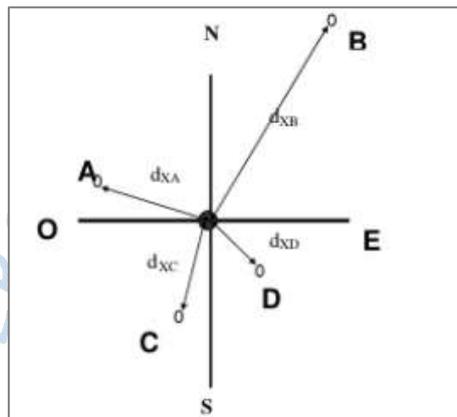


Figura 18. Esquema representativo del método U.S. National Weather Service

Fuente: Farías de Reyes (2005).

La precipitación buscada sería la siguiente (Buguña, 2019):

$$P_x = \sum (P_i * W_i) / \sum W_i$$

Siendo:

P<sub>i</sub> = Precipitación observada para la fecha de la faltante, en las estaciones auxiliares circundantes (pueden ser como mínimo 2), en milímetros.

D<sub>i</sub> = la distancia entre cada estación circundante y la estación incompleta, en Kilómetros.

$$W_i = 1/D_i^2$$

### Promedio aritmético

Es el método más sencillo, donde se utiliza los datos de las estaciones vecinas con los de la estación de la que se quiere obtener el dato faltante (Farías de Reyes, 2005). Sin embargo, este método solo es recomendado cuando las estaciones no varían en más de un 10 %, lo cual se puede utilizar en zonas planas (UNESCO-ROSTLAC, 1982).

### Promedios Ponderados

Este método se aplica cuando las estaciones varían más del 10 % y la zona es montañosa. Es similar al promedio aritmético, sin embargo, aquí se trabaja con pesos para cada estación. La fórmula es la siguiente (UNESCO-ROSTLAC, 1982).

$$P_x = \frac{\bar{P}_x}{3} \left( \frac{P_A}{\bar{P}_A} + \frac{P_B}{\bar{P}_B} + \frac{P_C}{\bar{P}_C} \right)$$

Donde:

$P_x$ : dato de precipitación estimado en la estación X.

$\bar{P}_x, \bar{P}_A, \bar{P}_B, \bar{P}_C$  : promedio de las precipitaciones anuales en las estaciones X, A, B y C.

$P_A, P_B, P_C$  : precipitación en las estaciones A, B y C durante el período faltante en X.

Este método se puede aplicar cuando hay hasta tres o cuatro datos mensuales faltantes en el año dentro del período elegido (Buguña, 2019).

### Método de Correlaciones

Este método utiliza correlaciones de las estaciones vecinas, ponderando las precipitaciones de acuerdo con el coeficiente de correlación. Cabe resaltar que se recomienda su uso solo para completar información de tipo anual (Pizarro, y otros, 2009). La ecuación es la siguiente (UNESCO-ROSTLAC, 1982).

$$P_x = \frac{P_{XA} * r_{XA} + P_{XB} * r_{XB} + P_{XC} * r_{XC}}{r_{XA} + r_{XB} + r_{XC}}$$

Donde:

$P_x$  = Valor estimado de precipitación en X.

$P_{xi}$  = Valor estimado de precipitación en X, a partir de las regresiones con cada una de las  $i$  estaciones.

$r_{xi}$  = Coeficiente de correlación entre los registros de la estación X, y cada una de las  $i$  estaciones.

A, B, ..., N = Estaciones consideradas.

### Regresión Lineal

Es uno de los métodos más utilizados y se recomienda para estimar datos mensuales y anuales de la estación en estudio que lo requiera (Pizarro, y otros, 2009).

Se requiere establecer una correlación lineal entre la estación en estudio y las estaciones cercanas mediante una ecuación, para luego hallar una ecuación de regresión lineal (Pizarro, y otros, 2009):

$$\hat{y} = a + b * x$$

Donde:

$\hat{y}$  = Valor estimado de la precipitación para la estación carente (mm).

x = Valor de precipitación registrado en la estación patrón (mm).

a, b = constantes de regresión.

Este método es de fácil aplicación, pero se debe tener en cuenta la calidad del modelo, para lo cual se establece utilizar el coeficiente de correlación (r) como forma de establecer la calidad de los datos. Este valor oscila entre  $-1 \leq r \leq 1$ , donde 0 indica una relación nula, mientras que los valores -1 y 1 indican correlación total. En términos hidrológicos, se considera aceptable una regresión cuyo valor de R sea mayor a 0,8 o menor que -0,8 (Pizarro, y otros, 2009). La estación cercana deberá abarcar necesariamente un período de registro mayor que la estación problema; de este modo se puede establecer una ecuación de regresión entre los datos de períodos comunes y completar los datos que faltan en la estación a completar (Buguña, 2019).

### Regresión múltiple

Este método es una extensión de la regresión simple y su forma de estimación se basa en la siguiente expresión matemática.

$$\hat{y} = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + \dots nX_i$$

Donde:

$\hat{y}$  = Valor de precipitación estimada para la estación con carencia de Información;

$X_1$  = Valor de precipitación en estaciones con información completa.

a, b, c, n = Constantes de regresión.

Según, Pizarro (2009) se concluye que da mejores resultados estimar con 2 y 3 estaciones auxiliares para completar la data faltante en el caso de la precipitación (Pizarro, y otros, 2009).

**1.4.1.2 Climograma.** El climograma, también llamado diagrama climático, ombrograma o diagrama ombrotérmico, es una herramienta que ayuda a representar el clima de un determinado lugar. Consiste en un gráfico de doble entrada en el que se presentan resumidos los valores medios de precipitación y temperatura de cada mes del año, sintetizando así las características principales del clima de una determinada localidad (EcuRed, 2021).

La temperatura y la precipitación no solo son los elementos climáticos más importantes por caracterizar el clima de una zona, sino que también son los más fáciles de medir. En consecuencia, los registros y estadísticas de temperatura y precipitación son mucho más abundantes que los de los otros elementos (Gentile, 2021).

En el climograma se presentan en cada mes del año la precipitación total caída durante el mes y la temperatura media mensual, la cual es el promedio de la temperatura media del mes, y también puede mostrar el promedio de la temperatura máxima y de la temperatura mínima mensual (EcuRed, 2021). También brinda información sobre la amplitud térmica anual la cual aumenta cuando aumentan la latitud y la distancia del mar, en tanto que disminuye con la altura (Gentile, 2021).

Los valores de la escala de precipitaciones son siempre el doble que los de temperaturas. La temperatura se mide en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) o en kelvin (K). En Estados Unidos se utilizan los grados Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ). Las precipitaciones se dan en unidades de longitud (mm o cm) o de capacidad por área (litros por metro cuadrado). En el climograma clásico las temperaturas se presentan en una línea y las precipitaciones en barras (EcuRed, 2021).

Para interpretar los climas presentados en los climogramas y sus rasgos principales, se realiza el siguiente análisis (PREGOGEOGRAFIA, 2007).

### **Análisis de las temperaturas**

1. Identificar en qué hemisferio se sitúa el clima.
  - a. Hemisferio norte: si la línea de las temperaturas es más alta por el centro que por los laterales, lo que indica que el invierno es frío.
  - b. Hemisferio sur: si la línea de temperaturas es más alta por los laterales que por el centro, lo que indica que el invierno es cálido.
2. Identificar el valor más alto y el mes en el que se dio.
3. Identificar el valor más bajo y el mes en el que se dio.
4. Calcular el valor promedio de la temperatura media e identificar los meses cuyo valor se encuentran por encima y los que se encuentran por debajo de ese promedio.
5. Calcular la amplitud térmica. Esto se realiza restando el máximo valor de temperatura media con el mínima valor de temperatura media.
6. Identificar el nivel de la amplitud térmica.
  - a. Baja: si el valor es inferior a 8.
  - b. Media: si el valor está entre 9 y 14.
  - c. Alta: si el valor es 15 o superior.
7. Identificar a qué zona climática corresponde el clima según la temperatura.

- a. Clima frío: si la temperatura media es inferior a 10°C.
- b. Clima templado: si la temperatura media está entre 10° y 20°C.
- c. Clima cálido: si la temperatura media es 21°C o superior.

### **Análisis de las precipitaciones**

1. Identificar el valor más alto y el mes en el que se dio.
2. Identificar el valor más bajo y el mes en el que se dio.
3. Identificar si existen agrupaciones de meses con precipitaciones parecidas.
4. Identificar a qué zona climática corresponde el clima según las precipitaciones.
  - a. Muy seco: si el total de precipitaciones es inferior a 300 mm anuales.
  - b. Seco: si el total está entre 300 y 800 mm anuales.
  - c. Húmedo: si la media está entre 800 y 1 100 mm anuales.
  - d. Muy húmedo: si la media está por encima de 1 100 mm anuales.

### **Análisis de la aridez**

1. Identificar si existen estiaje<sup>6</sup>. Según el índice de Gausson, son los meses en los que las temperaturas están por encima de las precipitaciones.
2. Identificar si hay período de aridez<sup>7</sup>. Según el índice de Gausson, son los meses en los que las temperaturas están por debajo de las precipitaciones.

**1.4.1.3 Tendencias climáticas.** La tendencia describe el cambio en el valor de una variable a lo largo del tiempo, por este motivo su cálculo en estudios de cambio climático es fundamental porque a través de ellas se pueden detectar la señal y la magnitud de dicho cambio (SENAMHI, 2020).

Para el estudio de las tendencias climáticas se debe utilizar toda la información continua que hayan registrado las estaciones meteorológicas. Esta información debe haber pasado por un proceso de control de calidad y homogeneización con el fin de evitar errores en el signo y magnitud de las tendencias (SENAMHI, 2020).

Para realizar este estudio, la metodología empleada para analizar el comportamiento de las variables climáticas (temperaturas máximas, temperaturas mínimas y precipitación

---

<sup>6</sup> Nivel más bajo o caudal mínimo de un río u otra corriente durante las épocas secas debido a la escasez de precipitaciones. Casi todos los ríos de la vertiente del Pacífico sufren un fuerte estiaje en otoño-invierno, generalmente entre los meses de junio y noviembre.

<sup>7</sup> Característica climatológica permanente por la que existe un déficit de humedad en determinados períodos de tiempo, y está vinculada a zonas con baja pluviometría y altas temperaturas. Es distinto a la sequía, la cual es un periodo de aridez extraordinario, no permanente, que puede ocurrir en cualquier clima y en cualquier momento. Ambas causan los estiajes. [http://info.igme.es/SidPDF/018000/939/Desarrollo%20metodologico/18939\\_0001.pdf](http://info.igme.es/SidPDF/018000/939/Desarrollo%20metodologico/18939_0001.pdf)

acumulada) a lo largo del tiempo, se basó en Análisis de series temporales a las series históricas de las mismas.

**1.4.1.4 Anomalías climáticas.** Según SENAMHI, anomalía se define como “la desviación de un elemento meteorológico con relación a su valor promedio de un período de tiempo mayor a 10 años” (SENAMHI, 2018).

Para hallar dichas anomalías de los diferentes parámetros climáticos se necesita hacer uso de las normales climáticas. Según la OMM (2018), las anomalías tienen como finalidad servir de referencia para comparar con observaciones de datos climáticos. Esto da paso a observar cómo se han comportado las variables climáticas como temperatura y precipitación.

Para las anomalías de las temperaturas máxima y mínima se utilizó normales con un periodo de 29 años, ya que para el presente estudio solo fue posible encontrar datos del año 1991 hasta el 2019. Las anomalías se obtuvieron mediante la siguiente fórmula (Balcázar & Lozano, 2019):

$$At = T - Tn$$

Donde:

At: anomalía de temperatura en °C

T: promedio de temperatura anual en °C

Tn: Temperatura normal en °C

En el caso de las normales de precipitación, se utilizó el periodo de 1981 al 2010, siguiendo con la recomendación de utilizar 30 años. Sólo en el caso de la estación UDEP se considera el periodo de 29 años desde 1991 al 2019 para hallar la normal. Para las demás estaciones las anomalías fueron calculadas para el periodo 1972-2019. Las anomalías de precipitación se calcularon mediante la siguiente fórmula (Balcázar & Lozano, 2019):

$$Ap = [(P/Pn) - 1] 100$$

Donde:

Ap: anomalía anual de precipitación en porcentaje.

P: Precipitación total anual en milímetros.

Pn: Precipitación normal en milímetros.

Para las anomalías de precipitación, SENAMHI ha establecido seis rangos, donde los mayores a +100%, +60% a +100% indican superávit, los valores entre -15% a -60% y de -60% a -100% indican déficit. Aquellos entre +15% a -15% indican condiciones normales de lluvia (SENAMHI, 2020).

### **1.4.2 Clasificación climática en el Perú**

Como resultado del trabajo técnico que el SENAMHI ha desarrollado desde el año 2017 al 2020, se actualizó el Mapa de Clasificación Climática del Perú donde se llegó a definir 38 tipos de climas a nivel nacional (Figura 19), basados en tres índices climáticos: precipitación efectiva, concentración estacional de humedad y eficiencia térmica; según la metodología de Thornthwaite, versión 1931 (SENAMHI, 2021).

Cuenta con 11 tipos de climas más respecto al primer mapa de 1988, debido a que para el mapa actualizado se trabajó con un mayor número de Estaciones Meteorológicas, además de haberse implementado técnicas estadísticas e interpolación más sofisticadas y un proceso de validación en campo con expertos locales, siguiendo las recomendaciones de la OMM. Se utilizaron 30 años consecutivos de datos meteorológicos, comprendidos en el periodo 1981 – 2010, utilizando 483 Estaciones Meteorológicas de la Red Nacional y 21 Estaciones Meteorológicas en zonas de frontera (SENAMHI, 2021).



COLOR	TIPO DE CLIMA	SIMBOLO
	<b>Muy Lluvioso / Selva</b> Con abundante humedad en todas las estaciones / cálido	A (r) A'
	Con abundante humedad en todas las estaciones / templado	A (r) B'
	Con abundante humedad en todas las estaciones / frío	A (r) C'
	Con abundante humedad en todas las estaciones / semifrío	A (r) D'
	<b>Lluvioso / Bosque</b> Con invierno seco / templado	B (i) B'
	Con invierno seco / frío	B (i) C'
	Con invierno seco / semifrío	B (i) D'
	Con invierno seco / frígido	B (i) E'
	Con otoño e invierno seco / templado	B (o , i) B'
	Con otoño e invierno seco / frío	B (o , i) C'
	Con otoño e invierno seco / semifrío	B (o , i) D'
	Con abundante humedad en todas las estaciones / cálido	B (r) A'
	Con abundante humedad en todas las estaciones / templado	B (r) B'
	Con abundante humedad en todas las estaciones / frío	B (r) C'
	Con abundante humedad en todas las estaciones / semifrío	B (r) D'
	<b>Semiseco / Pastizal</b> Con invierno y primavera seca / cálido	C (i , p) A'
	Con invierno y primavera seca / templado	C (i , p) B'
	Con invierno seco / cálido	C (i) A'
	Con invierno seco / templado	C (i) B'
	Con invierno seco / frío	C (i) C'
	Con invierno seco / semifrío	C (i) D'
	Con invierno seco / frígido	C (i) E'
	Con otoño e invierno seco / templado	C (o , i) B'
	Con otoño e invierno seco / frío	C (o , i) C'
	Con otoño e invierno seco / semifrío	C (o , i) D'
	Con otoño e invierno seco / frígido	C (o , i) E'
	Con abundante humedad en todas las estaciones / cálido	C (r) A'
	Con abundante humedad en todas las estaciones / templado	C (r) B'
	<b>Semiárido / Estepa</b> Con invierno y primavera seca / cálido	D (i , p) A'
	Con invierno y primavera seca / templado	D (i , p) B'
	Con invierno y primavera seca / frío	D (i , p) C'
	Con invierno seco / cálido	D (i) A'
	Con invierno seco / templado	D (i) B'
	Con invierno seco / frío	D (i) C'
	Con invierno seco / semifrío	D (i) D'
	<b>Árido / Desierto</b> Deficiencia de humedad en todas las estaciones / cálido	E (d) A'
	Deficiencia de humedad en todas las estaciones / templado	E (d) B'
	<b>Glaciar</b> Glaciar	Glaciar

Figura 19. Clasificación climática en el Perú elaborado por el método Thornthwaite (periodo de referencia 1981-2010)

Fuente: <https://hdl.handle.net/20.500.12542/761>

### 1.4.3 Clasificación climática para el Departamento de Piura

La región de Piura presenta 11 tipos de clima, siendo la mayor proporción territorial árida (Figura 21). Esta zona va desde el litoral hasta los 500 m. s. n. m. y abarca las provincias de Talara, Sullana, Paíta, Piura y Sechura; el clima cálido o templado, con deficiencia de humedad todo el año, E(d) A' y E(d)B'. Entre los 500 y 1 000 m. s. n. m., abarca a la provincia de Huancabamba y zonas altas de las provincias de Piura y Morropón; el clima es semiárido y cálido, sin humedad en invierno y primavera, D (i, p) A' (SENAMHI, 2021).

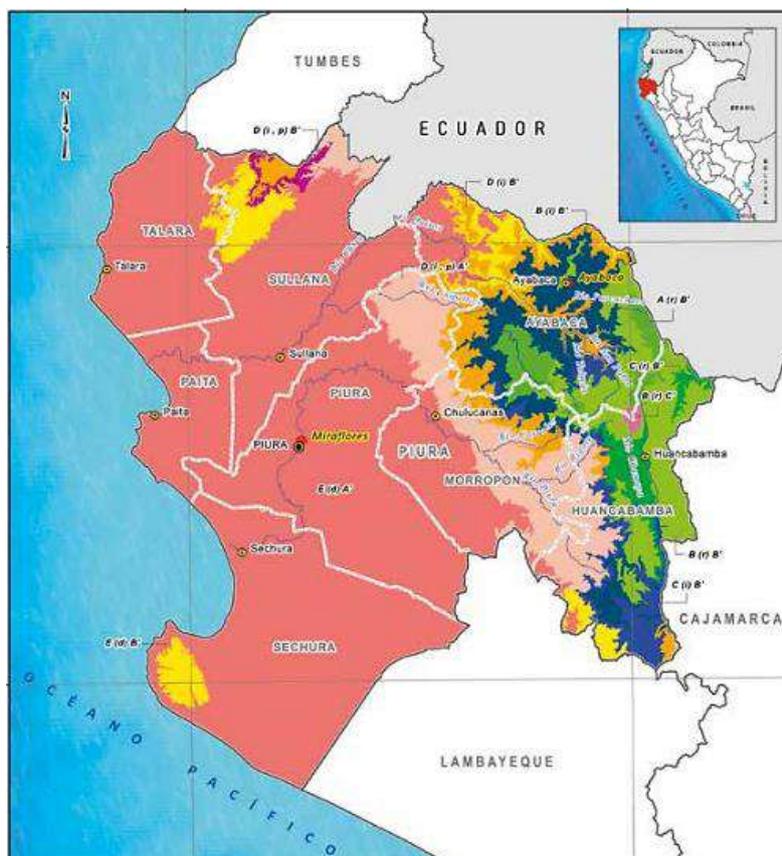


Figura 20. Mapa climático del departamento de Piura

Fuente: SENAMHI (2021).

A medida que aumenta la altura, entre 1 000 y 3 500 m s. n. m. en las provincias de Ayabaca, Morropón y Huancabamba, el clima varía de semiseco a lluvioso y muy lluvioso, con inviernos secos o húmedos durante todo el año. Estos climas pueden variar entre el frío y templado, C(i)B', C(r)B', B(i)B', B(r)B', B(r)C' y A(r)B'. En las provincias de Sullana, Ayabaca y Morropón, también se presentan climas semiáridos y cálidos, con invierno y/o primavera seca, D(i, p)B' y D(i)B' (SENAMHI, 2021).

En la Figura 21 se observan dos climogramas, el primero realizado con los datos obtenidos de la estación meteorológica Miraflores (34 m s. n. m.), y el segundo realizado con

los datos obtenidos de la estación meteorológica Ayabaca (2633 m s. n. m.), sierra al noreste de Piura.

En Miraflores, el clima es árido y cálido; la temperatura máxima oscila entre 27.5° C, en julio, y 34° C, en febrero y marzo; y la temperatura mínima, entre 17° C, en invierno, y 23° C, en verano. La precipitación anual es de 235 mm, mayormente en los meses de enero a abril, con 40 a 60 mm por mes.

En Ayabaca, el clima es lluvioso y templado con invierno seco, donde la temperatura máxima oscila entre 16.5°C en febrero, y 19°C en setiembre y la temperatura mínima, alrededor de los 10°C durante todo el año. La precipitación anual es de aproximadamente 1355 mm, concentrado entre febrero y abril, con 200 a 300 mm por mes.

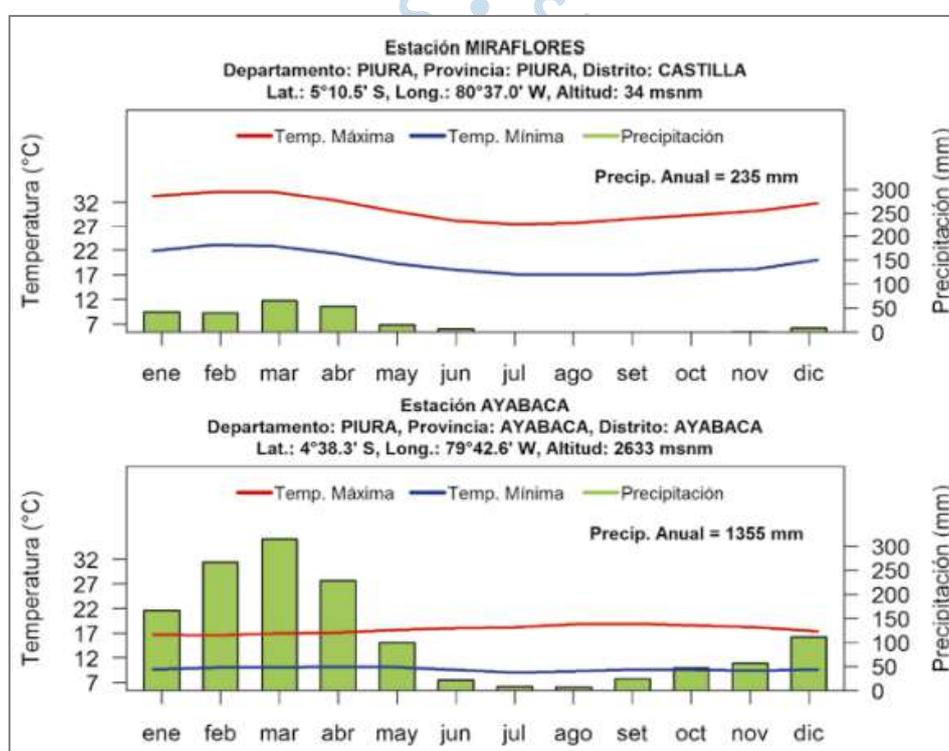


Figura 21. Climograma de las temperaturas del aire y la precipitación en Miraflores y Ayabaca

Fuente: SENAMHI (2021).

## 1.5 Análisis estadístico

### 1.5.1 Selección de modelos

En la práctica, al realizar un análisis de regresión, se cuenta con un gran número de potenciales variables explicativas de las cuales solo algunas serán importantes para explicar la variable respuesta (Blas, 2021).

En primera instancia se podría pensar que se deberían incluir todas las variables disponibles en el modelo ya que sería útil más información. Sin embargo, existen varias razones para considerar un modelo más pequeño. El principio de la navaja de Ockam establece que, entre varias explicaciones plausibles para un fenómeno, la más simple es la mejor. Aplicado al análisis de regresión, esto implica que el modelo más pequeño que se ajusta adecuadamente a los datos es el mejor (Faraway, 2015).

Un número muy grande de variables explicativas complica la practicidad del modelo y, aunque mejora el ajuste aparente, aumenta la varianza de los estimadores de los parámetros (Carmona, 2003). El incluir todas las variables también puede generar problemas como la existencia de variables explicativas que no guardan relación con la variable respuesta (variables irrelevantes), las variables explicativas redundantes (variables correlacionadas), entre otros (Blas, 2021). Los predictores innecesarios añadirán ruido a la estimación de otros valores de interés y se desperdiciarán grados de libertad (Faraway, 2015).

Por el contrario, si el número de variables es demasiado pequeño, es posible que la potencia del modelo se vea reducida y que las estimaciones obtenidas sean sesgadas, tanto de los coeficientes de regresión, como de las predicciones. Este sesgo se origina ya que los errores calculados con los datos observados pueden contener efectos no aleatorios de las variables desechadas (Carmona, 2003).

Es importante resaltar que el esfuerzo se debe centrar en el objetivo principal del modelo de regresión, por lo que, si se obtiene mejores predicciones utilizando modelos más grandes, aunque los modelos más pequeños pueden resultar atractivos, no se quiere comprometer la capacidad predictiva (Faraway, 2015).

Por lo tanto, un problema importante es encontrar un adecuado conjunto de variables explicativas para la construcción de un modelo de regresión. A los métodos que lidian con este problema se les denomina métodos de selección de variables, cuyo objetivo es buscar un subconjunto de variables explicativas que mediante un modelo interpreten correctamente el comportamiento de la variable respuesta, y a la vez brinde un equilibrio entre la bondad de ajuste del modelo y la complejidad (Blas, 2021). Al comparar modelos potenciales, se pueden emplear métodos de prueba de hipótesis para hacer una elección o usar algún método basado en criterios sobre el ajuste relativo para decidir (Faraway, 2015).

La selección del modelo es un proceso que no debe separarse del resto del análisis, ya que otras partes del análisis de datos pueden tener un impacto, por ejemplo, los valores atípicos y los puntos influyentes pueden hacer más que solo cambiar el modelo actual, pueden cambiar el modelo seleccionado. Las transformaciones de las variables también pueden tener un impacto en el modelo seleccionado (Faraway, 2015).

Suele ser necesario un poco de iteración y experimentación para encontrar mejores modelos, aunque incluso con un número moderado de predictores potenciales, las posibles

combinaciones de variables pueden llegar a ser muy grandes. Los procedimientos que consideran todas las combinaciones posibles pueden no ser prácticos y se debe recorrer el espacio de posibles modelos de forma incremental (Faraway, 2015).

**1.5.1.1 Criterios para comparar modelos.** Una vez que se cuentan con todas las variables, es necesario tener un criterio numérico que resuma la bondad del ajuste que un modelo lineal, con un cierto conjunto de covariables, da a la variable respuesta. Esto permitirá evaluar los modelos y elegir un pequeño conjunto de buenos candidatos para estudiar posteriormente en detalle (Szretter M. , 2017).

Algunos de los criterios utilizados con mayor frecuencia en regresión lineal para la selección de modelos son:

- a. **Coefficiente de determinación ( $R^2$ ):** representa la proporción de la varianza que es explicada por la recta de regresión. El valor de  $R^2$  siempre está entre 0 y 1, implicando un valor cercano a 1 (entre 0.6 y 1) que buena parte de la varianza es explicada por la recta de regresión, y  $R^2 \approx 0$  implicaría que toda la variabilidad de los datos queda sin explicar por la recta. Sin embargo,  $R^2$  no mide qué tan adecuado es el modelo de regresión para describir los datos (Aparicio, Martínez, & Morales, 2004). De hecho,  $R^2$  siempre incrementa cuando se agrega una variable al modelo, por lo tanto,  $R^2$  por sí solo no es un buen criterio, porque siempre elegiría el modelo más grande posible (Faraway, 2015).
- b. **Coefficiente de determinación ajustado ( $R_a^2$ ):** Para evitar los problemas de interpretación de  $R^2$ , un criterio de decisión mucho más objetivo para comparar modelos con diferente número de predictores es utilizar el  $R_a^2$  (Aparicio, Martínez, & Morales, 2004) debido a que este solo aumentaría si la variable agregada tiene algún valor predictivo (Faraway, 2015). Bajo este criterio, el mejor modelo es aquel que tiene el máximo  $R_a^2$  (Aparicio, Martínez, & Morales, 2004). Sin embargo, si el número de variables es considerable, esta técnica puede presentar dificultades de cálculo (Carmona, 2003).
- c. **Error estándar de la regresión ( $S$ ):** también conocido como error estándar de la estimación, representa la distancia promedio a la que se encuentran los valores observados desde la línea de regresión; en otras palabras, indica directamente la precisión de las predicciones del modelo, utilizando las unidades de la variable de respuesta. Los valores más pequeños son mejores porque indican que las observaciones están más cerca de la línea ajustada (Frost, 2019).
- d.  **$C_p$  de Mallows:** Compara la precisión y el sesgo del modelo con  $p$  coeficientes con el del modelo completo con todos los regresores observados. Se opta por modelos cuyo valor del  $C_p$  de Mallows esté más cercano al número de predictores del modelo más la constante, y de preferencia que el valor sea el más pequeño, ya que los modelos con

sesgo significativo suelen tener valores del  $C_p$  más grande que  $p$  (Aparicio, Martínez, & Morales, 2004).

- e. **Criterio de información Akaike (AIC) y Criterio de información Bayesiano (BIC):** son dos criterios que penalizan a los modelos con muchas covariables al igual que el  $C_p$  de Mallows (Aparicio, Martínez, & Morales, 2004). Ambas medidas representan una buena ponderación a los modelos que dan un ajuste apropiado y a la vez son parsimoniosos, es decir, tienen pocos parámetros a ajustar. Se identifican mejores modelos cuando tienen pequeños valores de ambos criterios (Szretter M. , 2017).

Cuando se ha seleccionado el “mejor” modelo según el criterio elegido, se debe realizar el diagnóstico y la validación del modelo. Si se encuentra una falla en algún paso, se tendría que reformular del modelo y todos los pasos que le siguen, tomando como referencia aquellas correcciones y/o transformaciones de variables sugeridas en el diagnóstico (Aparicio, Martínez, & Morales, 2004).

**1.5.1.2 Selección automática de modelos.** Como se mencionó antes, el proceso de selección de modelos puede conllevar a comparar un gran número de modelos entre sí. Por ello, existen diferentes procedimientos automáticos de selección de modelos programados en los paquetes estadísticos para simplificar esta tarea (Szretter M. , 2017). Entre los más populares están:

- a. **Mejores subconjuntos posibles (Best Subsets Regression):** Estos algoritmos ajustan todos los posibles submodelos y luego los ranquean según algún criterio de bondad de ajuste. Este método es el más aconsejable de usar siempre que sea posible, ya que es el único que garantiza que se obtendrá el modelo final que optimice la búsqueda con el criterio elegido, como por ejemplo el mayor  $R_a^2$ , el mejor del  $C_p$ , entre otros (Szretter M. , 2017).
- b. **Eliminación hacia atrás (Backward Elimination):** Es el más sencillo de los procedimientos de selección de variables, y en situaciones de jerarquías complejas, se puede realizar manualmente, teniendo en cuenta qué variables pueden eliminarse (Faraway, 2015). Este método parte del modelo más complejo y se van excluyendo una a una las variables que satisfacen el criterio de exclusión (Aparicio, Martínez, & Morales, 2004).
- c. **Selección hacia adelante (Forward Selection):** Este método invierte el método de eliminación hacia atrás; inicia con el modelo más simple y se van incluyendo una a una las variables que satisfacen el criterio de inclusión (Aparicio, Martínez, & Morales, 2004).
- d. **Selección Stepwise (Stepwise Regression):** Es una combinación de eliminación hacia atrás y selección hacia adelante (Faraway, 2015). Este método suele comenzar con el modelo más simple y en cada paso se añade o elimina la variable que satisface el criterio de inclusión o exclusión (Aparicio, Martínez, & Morales, 2004).

Sin embargo, se debe tener en cuenta que si bien estas búsquedas automáticas son económicas desde un punto de vista computacional, y fáciles de entender, también presentan limitaciones (Faraway, 2015):

- Si hay data faltante, estos algoritmos eliminarán el caso completo y harán la selección de modelos basados en  $n - 1$  observaciones. Esto puede ser un problema si  $n$  es pequeño y hay varios parámetros con observaciones faltantes (Szretter M. E., 2017).
- Aunque un modelo sea el mejor en términos de algún criterio, no significa que sea el mejor desde el punto de vista práctico, ni que tampoco para ese modelo valgan los supuestos (Szretter M. E., 2017).
- Pueden excluir del modelo variables que realmente deberían estar en el modelo de acuerdo a otros criterios teóricos. También está la posibilidad de forzar ciertas variables para que aparezcan en el modelo, independientemente del hecho de que tengan coeficientes significativos, gracias a que existen paquetes que permiten esa alternativa (Szretter M. E., 2017).

En general, cualquier método automático de selección de variables debe ser usado con precaución y debe estar presente el juicio crítico del investigador para garantizar que el modelo final sea el óptimo, ya que estos procedimientos no son sustitutos de una cuidadosa construcción teórica que guíe la formulación de los modelos (Szretter M. E., 2017).

### 1.5.2 Análisis de Regresión

La Regresión trata de encontrar una relación entre un conjunto de variables independientes y una dependiente (Hernández, 2019). El modelo más simple que lo representa es el siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon$$

Sin embargo, existen otros modelos que se aproximan más a la realidad, los modelos de regresión múltiple (Hernández, 2019). Aquí, se relaciona la variable dependiente con varias variables independientes y se define de la siguiente manera:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_{p-1} X_{ip-1} + \varepsilon_i$$

**1.5.2.1 P-valor y coeficientes.** Antes de empezar a hacer uso del modelo, se debe evaluar los coeficientes y su significancia a través del p-valor. Cada coeficiente se puede tomar pendientes, esto si se piensa en una regresión simple, en donde la observa una recta. Estos valores reflejan el efecto de una variable de predicción o respuesta cuando la variable predictora es incluida en el modelo y se mantiene constante (Hernández, 2019).

El p-valor indica si las variables independientes tienen influencia en el modelo. Para ello, es necesario realizar un test de hipótesis. En donde si se rechaza la hipótesis nula, la variable independiente influye en la variable dependiente Y (Hernández, 2019).

Sin embargo, con esto no basta, por lo cual es necesario revisar gráficas de residuos, bondad de ajuste, entre otros.

**1.5.2.2 ANOVA.** El análisis de varianza es un método que permite comparar 2 o más modelos que proporcionan a los mismos datos. A partir del ANOVA se deriva el test F, el más importante para la regresión múltiple, el cual hace un contraste de las siguientes hipótesis (Szretter M. , 2017).

Hipótesis nula:  $H_0: \beta = \beta_2 = \dots = \beta_n = 0$

Hipótesis alternativa:  $H_1$  : Existe al menos un  $\beta_i \neq 0$

Si se acepta la hipótesis nula, el modelo no es explicativo, es decir que ninguna de las variables independientes influye en la variable dependiente. Por el contrario, si se rechaza la hipótesis nula, al menos una de las variables independientes influye en la variable dependiente (Hernández, 2019).

La metodología ANOVA también contiene los estadísticos: grados de libertad, el Test F y su p-valor. Por lo general si los p-valor de los coeficientes no son significativos, entonces la prueba tampoco lo será.

**1.5.2.3 R<sup>2</sup> y bondad de ajuste.** Como se sabe la regresión lineal calcula una ecuación que minimiza la distancia entre la línea ajustada y todos los puntos de los datos reales, lo cual se le conoce como minimizar la suma de los residuos cuadrados. Para ello, si las diferencias son pequeñas entonces el modelo tiene un mejor ajuste.

Como se ha mencionado, el R<sup>2</sup> representa la proporción de la varianza de la recta de regresión. Sin embargo, no indica si un modelo es adecuado, para resolver este tipo de problemas se tiene al R<sup>2</sup> ajustado, el cual compara el poder explicativo entre los modelos, este aumenta sólo si por agregar otra variable mejora el modelo.

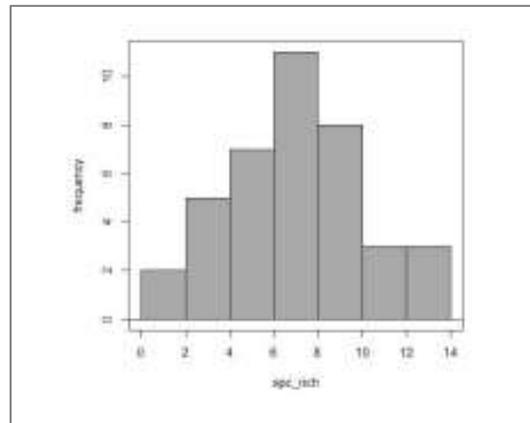
Un R<sup>2</sup> bajo con predictores significativos aún es un modelo del cual se puede sacar importantes conclusiones. Se requiere que este valor sea alto sobre todo en un modelo que tiene como objetivo la predicción.

**1.5.2.4 Validación del modelo/Análisis de residuos/Supuestos de errores.** Al obtener un modelo de regresión lineal, este debe cumplir con ciertas hipótesis para poder hacer uso de él. Cabe resaltar que las al satisfacer las hipótesis asociadas a los errores equivale a satisfacer las de la variable dependiente (Hernández, 2019). Por ello, además de las técnicas que se presentarán para evaluar a la variable dependiente, también se muestra la evaluación a través de los residuos, haciendo uso de los gráficos.

#### a. Normalidad

Existen diferentes formas de identificar si la variable dependiente sigue una distribución normal y una de ellas es a través de gráficos. Es importante mencionar que, al ser una prueba visual, esta no tiene un diagnóstico total, sin embargo, nos permite tener una

aproximación. El gráfico más usado es el histograma con la campana de Gauss superpuesta, el cual debería quedar de la siguiente forma para cumplir con el supuesto (Hernández, 2019).

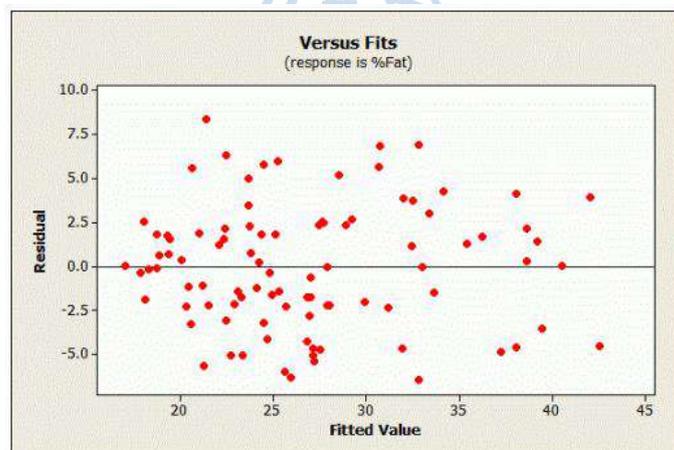


**Figura 22. Histograma de una variable que sigue una distribución normal**

Fuente: Hernández (2019).

También, existen métodos como el teorema Central del Límite, para variables cuyas observaciones se miden en promedio y el Test de normalidad de Kolmogórov-Smirnov, el cual se utiliza para identificar la normalidad de una variable. En el supuesto caso que la variable no tenga una distribución normal, se debe pasar de la estadística paramétrica a la no paramétrica (Hernández, 2019).

En el caso de los gráficos de residuos, de acuerdo con el MCO (Mínimos cuadrados ordinarios), la serie de errores debe ser aleatoria. Para comprobar ello, los residuos deben estar dispersos aleatoriamente en torno a cero para todo el rango de valores ajustados. Si hay patrones en los residuos se debe ajustar el modelo. La Figura 23 muestra como debe ser la distribución considerar que se cumple con el supuesto de normalidad (Frost, 2019).



**Figura 23. Gráfico de residuos de acuerdo con el MCO**

Fuente: Frost (2019).

Un patrón no aleatorio en los residuos indica que las variables explicativas del modelo no están capturando alguna información, la cual se está infiltrando hacia los residuos. Algunas causas de estos pueden ser:

- Una variable faltante.
- Falta de interacción entre variables que están en el modelo.

### **b. Autocorrelación**

El modelo debe satisfacer el supuesto que, los errores deben ser independientes entre sí. En caso contrario, indica que cierta información no está siendo capturada por las variables explicativas del modelo. Los contrastes de significancia dejan de ser válidos, dando modelos inexistentes. La falta de independencia se suele dar en situaciones donde las observaciones son recogidas secuencialmente en el tiempo (Hernández, 2019). Para corregir esto se puede incluir una variable que capture la información relevante relacionada con el tiempo o utilizar un análisis de series de tiempo, para ello existe la prueba de Durbin-Watson para probar la autocorrelación, donde se tiene que:

$H_0: \rho = 0$  [Errores Independientes]

$H_1: \rho \neq 0$  [Errores Dependientes]

También, se tiene el gráfico de los residuos de la estimación en el tiempo para identificar la autocorrelación. En donde los residuos no deben seguir un patrón. Cuando existe autocorrelación, el método de mínimos cuadrados deja de ser eficiente (Hernández, 2019).

### **c. Multicolinealidad**

Para que el modelo funcione se debe satisfacer la no existencia de multicolinealidad, ya que los estimadores de los mínimos cuadrados serían poco precisos. Para detectar la multicolinealidad se tiene el factor de inflación de varianza (VIF). Este factor determina el grado en el que aumenta la varianza del estimador, cuando es mayor a 10 indica existencia de multicolinealidad (Hernández, 2019). Una vez detectado el problema, se puede solucionar de diferentes maneras:

- Eliminar del modelo las variables que presentan multicolinealidad
- Aumentar el tamaño de la muestra.
- Aprovechar estimadores procedentes de otros estudios

### **d. Homocedasticidad**

Es necesaria para que los coeficientes del modelo sean eficientes, lineales y el modelo insesgado. En caso de no cumplirse, se presenta la heteroscedasticidad (Hernández, 2019).

La varianza de los errores debe ser consistente para un rango de observaciones, tener una misma dispersión. Mientras que la heteroscedasticidad se presenta como un cono en el gráfico de residuos, tiene un patrón en donde a medida que aumentan los valores ajustados, aumenta la varianza de estos (Frost, 2019).

Para identificarla se tiene el gráfico de residuos, donde no deben presentar patrón alguno. En la Figura 24 se muestra un gráfico de residuos con heteroscedasticidad.

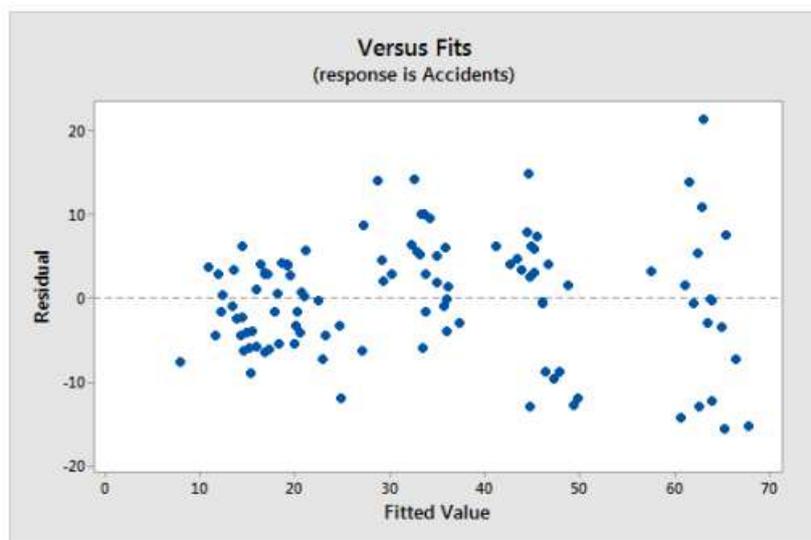


Figura 24. Gráfico de residuos con heteroscedasticidad

Fuente: Hernández (2019).

Además, se realiza el test de hipótesis de Box&Cox:

$$H_0: \lambda = 1 \text{ [modelo es homocedástico]}$$

$$H_1: \lambda \neq 1 \text{ [modelo es no homocedástico]}$$

En el caso de presentar heteroscedasticidad, se pueden hacer transformaciones, como la Box&Cox (Hernández, 2019).

## 1.6 Software R Studio

R es un entorno de software libre para gráficos y computación estadística, contiene herramientas muy flexibles que pueden aplicarse fácilmente mediante paquetes, librerías o funciones. El software te ayuda al análisis de datos ya que es para el procesamiento de todo tipo de datos. Se puede estudiar correlaciones, ajustar modelos, aplicar árboles de decisión, crear redes neuronales de predicción, etc. Así también, crea gráficos exportables en diversos formatos: PostScript, pdf, bitmap, pictex, png, jpeg, etc. Además, se puede trabajar con gran cantidad de información (Merayo, 2018).

En el presente estudio se ha utilizado debido a la facilidad para trabajar con gran cantidad de datos. Fue de gran ayuda en la limpieza de datos y estimación de datos faltantes, lo cual se describirá más adelante. Cabe resaltar que en esta fase fueron muy importantes las herramientas estadísticas como las correlaciones y modelos de regresión. Además, para el análisis de datos climáticos, se hizo uso de gráficas y herramientas estadísticas. Para ello, se hizo uso de los paquetes y librerías. Por ejemplo, *dplyr*, un paquete que nos permite manejar estadísticamente y agrupar en función de una variable un conjunto de datos, *tydiverse*, que es un paquete de datos que ayuda en la visualización de datos, por ejemplo, se utilizó la función *ggplot*, *naniar*, paquete que permite explorar datos faltantes, entre otros.





## Capítulo 2

### Ámbito geográfico de aplicación del estudio. La provincia de Sechura

Sechura al ser una provincia ubicada en zona desértica es muy afectada por la variabilidad climática. Es importante conocer su clima, historia y los efectos del FEN. Por ello, en el presente capítulo se da a conocer el ámbito geográfico del área de estudio. Además, se muestran cuáles son sus actividades productivas y se analiza su comportamiento.

#### 2.1 Provincia de Sechura

##### 2.1.1 Ubicación y superficie territorial

Sechura es una de las ocho provincias que conforman el departamento de Piura, y se encuentra situada en la costa norte del Perú. Su territorio tiene una extensión de 6,369.93 km<sup>2</sup>, que equivale al 24.6% del territorio regional (Municipalidad Provincial de Sechura, 2018). Sus coordenadas geográficas se encuentran entre los 05°33'13" - 05°25'07" de latitud sur y 80°49'14" - 80°46'16" de longitud oeste, con una altura promedio de 12.14 m.s.n.m (Municipalidad Provincial de Sechura, s.f.).

La Municipalidad de Sechura (2018) indica que los límites de esta provincia son:

- Por el Noroeste: Provincia de Paita y distritos de La Unión, Tallan y Catacaos, estos últimos de la provincia de Piura.
- Por el Este y Sureste: con el departamento de Lambayeque.
- Por el Sur, Suroeste y Oeste: con el Océano Pacífico.

Sechura fue creada mediante Ley N° 26290 el 29 de enero de 1994. Su capital es la ciudad de Sechura y está integrada por seis distritos: Sechura, Bernal, Vice, Bellavista de la Unión, Cristo Nos Valga y Rinconada de Llicuar, las cuales se muestran en la Figura 25 (Municipalidad Provincial de Sechura, s.f.).



Figura 25. Mapa de ubicación de la provincia de Sechura

Fuente: Municipalidad Provincial de Sechura (2010).

### 2.1.2 Demografía

De acuerdo con los resultados del censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2017), Piura es el segundo departamento con mayor población, contando con un total de 1,856,809 habitantes que representa el 15.32% de la población peruana.

Sechura es la Provincia más joven de la Región y la de menor población, así como una de las de mayor extensión territorial (Municipalidad Provincial de Sechura). Según el Censo 2017, esta provincia cuenta con 79,177 habitantes, lo que representa el 4.3% de la Región (INEI, 2018).

En el periodo intercensal 2007-2017, Sechura presentó la mayor tasa de crecimiento promedio anual en la Región, con un aumento de la población de 27.1%, creciendo a un ritmo promedio anual de 2.4%. Los resultados también revelaron que Sechura es una de las provincias del departamento de Piura con mayor porcentaje de población urbana (95%), pasando de 58,497 personas en el 2007 a 75,224 en el 2017; sin embargo, fue la única provincia que presentó un ligero crecimiento de la población rural, pasando de 3,822 personas en el 2007 a 3,953 en el 2017 (INEI, 2018).

Esta provincia es predominantemente urbana debido a una fuerte migración interna de los caseríos aledaños a la capital provincial, creando nuevos Asentamientos Humanos, y buscando nuevas oportunidades laborales (Municipalidad Provincial de Sechura, 2018).

En base a los resultados del Censo 2007, las proyecciones de población del INE para el año 2016 señalaban que el nivel promedio de ocupación territorial de la población era de 12 hab./ km<sup>2</sup>. Según esa información, el distrito de Bellavista de la Unión tenía la mayor densidad poblacional, con 333.62 hab./ km<sup>2</sup>, y el distrito de Cristo Nos Valga tenía la menor densidad, con 1.67 hab./ km<sup>2</sup>, como se muestra en la Figura 26 (Municipalidad Provincial de Sechura, 2018).

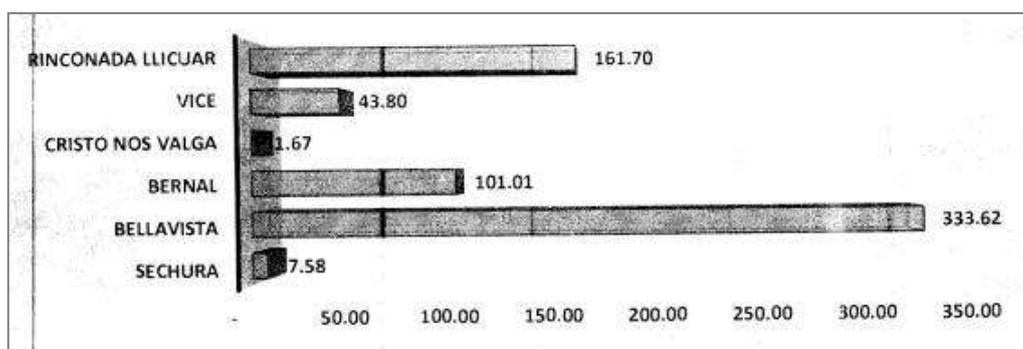


Figura 26. Densidad poblacional de la provincia de Sechura (2016)

Fuente: Municipalidad Provincial de Sechura (2018).

### 2.1.3 Caracterización territorial

**2.1.3.1 Clima, temperatura y precipitación.** Según el espacio territorial, en la provincia de Sechura se puede distinguir las siguientes características climáticas (ver Tabla 5):

Tabla 5. Clasificación climática de la Provincia de Sechura

CLIMA	TEMP.	PRECIP.	ZONA DE LA PROV.	SUPERFICIE
Seco y cálido	26°C	100 mm	Zona Nor oriental	De 102,000 Has
Seco y semi cálido	20°C	70 mm	Macizo de Illescas	De 54,000 Has.
Muy seco y semi cálido	22°C	25 mm	Litoral de la Bahía de Sechura	De 180,000 Has.
Muy seco y cálido	24°C	60 mm	Zona central del desierto de Sechura	De 188,000 Has.

Nota: Adaptado de (Municipalidad Provincial de Sechura, s.f.).

En términos generales, la Provincia de Sechura presenta un clima cálido y seco con ligeras lluvias que se acentúan en los meses de verano (Municipalidad Provincial de Sechura, s.f.). Según la clasificación del clima de Köppen-Geiger es BWh (Climate-Data.org, s.f.).

Las condiciones antes descritas varían en épocas del fenómeno de El Niño donde suelen presentarse fuertes precipitaciones (Municipalidad Provincial de Sechura, s.f.). La Corriente de Humboldt (aguas frías de 13 a 19°C) con la Corriente del Niño (aguas calientes de 22 a 27°C) chocan a la altura de la bahía de Sechura al sur de la ciudad de Piura. Este fenómeno de El Niño permite al mar de Piura que oscile entre los 18 y 23°C, durante los meses de invierno y otoño, y entre los 24°C y 27 °C durante el verano y primavera. Durante ese periodo, la temperatura promedio del agua de mar a la altura de la provincia de Sechura es de 22°C (EN PERU, s.f.).

La temperatura en esta región también varía dependiendo de las estaciones del año, siendo las épocas de mayor contraste durante el verano e invierno. Las temperaturas medias varían entre 26 °C y 22 °C. Como máximo la temperatura llega a 34.2 °C y rara vez baja a menos de 15 °C, que corresponden a los meses de febrero y junio respectivamente (Municipalidad distrital de Sechura, 2019).

En el caso de la precipitación, la temporada de lluvia dura aproximadamente 4 meses, de enero a abril, siendo marzo el mes en el que cae la mayoría de la lluvia. El periodo del año sin lluvia dura 8 meses, de mayo a diciembre, siendo agosto y setiembre los meses con la menor cantidad de lluvia (Weather Spark, 2016).

### Climograma de Sechura

Con datos obtenidos desde enero de 1989 hasta diciembre del 2019, se obtuvo un climograma de la provincia de Sechura (ver Figura 27). Se puede apreciar que la mayor precipitación promedio ocurrió en el mes de marzo, con un valor de 28.2 mm; la mayor temperatura promedio también se da en marzo, con un de 27.4°C.

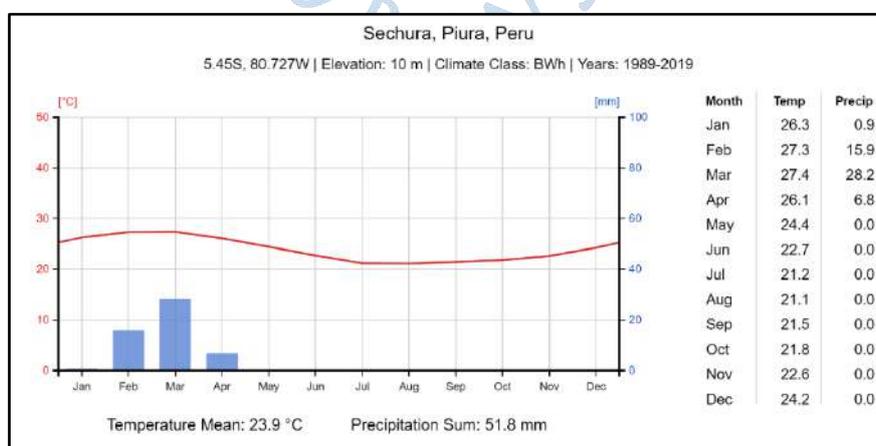


Figura 27. Climograma de Sechura (1989-2019)

Fuente: <https://climatecharts.net/>

**2.1.3.2 Relieve.** El territorio de la Provincia de Sechura comprende parte de uno de los desiertos más grandes de Sudamérica, conocido como el desierto de Sechura, con una extensión de 5000 km<sup>2</sup> conformado por inmensas dunas y posee riquezas como los enormes yacimientos de fosfatos, diatomitas, salmueras, etc (Municipalidad Provincial de Sechura, s.f.).

Dentro del desierto de Sechura, se ubica el macizo de Illescas que constituye una elevación rocosa de 500 m de altura, 30 km de largo y 15 km de ancho. Al encontrarse ubicada en la costa del Perú en todo el litoral del Océano Pacífico, Sechura cuenta con su Bahía que es considerada morfológica y geológicamente, como la prolongación del complejo de Illescas, con una franja costera más ancha del País de aproximadamente 200 km (Municipalidad Provincial de Sechura, s.f.).

Además, esta provincia cuenta con puntas como Punta Nunura, Punta Blanca, Punta Bappo, Punta Lagunas, y playas como Mata Caballo, Bocana de San Pedro, Vichayo, Puerto Rico, Islas Lobos de Tierra, Playa de San Pedro y San Pablo, etc (Municipalidad Provincial de Sechura, s.f.).

**2.1.3.3 Humedad.** En Sechura, la humedad percibida varía extremadamente. El período más húmedo del año dura 7 meses, de noviembre al junio, y durante ese tiempo el nivel de comodidad es bochornoso y opresivo o insoportable durante casi el 34 % del tiempo. El máximo valor diario de humedad registrado hasta el 2016 se dio en el mes de febrero, llegando a una humedad de 98 % durante el día, mientras que el mínimo valor diario se dio en el mes de setiembre, con condiciones húmedas el 13 % durante el día (Weather Spark, 2016).

**2.1.3.4 Velocidad del viento.** La velocidad promedio del viento por hora en Sechura tiene variaciones estacionales considerables en el transcurso del año. La parte más ventosa del año dura 8 meses, de mayo a diciembre, con velocidades promedio del viento de más de 17.6 km/h. El tiempo más calmado del año dura 4 meses, de enero a abril. El día más calmado registrado hasta el 2016 se dio en el mes de marzo, con una velocidad promedio del viento de 14.2 km/h, mientras que el día más ventoso se dio en el mes de septiembre, con una velocidad promedio del viento de 20.9 km/h (Weather Spark, 2016).

**2.1.3.5 Temperatura superficial del mar.** La TSM promedio tiene variaciones estacionales extremadas durante el año. La época del año cuando el agua está más caliente dura 3 meses, de enero a marzo, con una temperatura promedio superior a 22 °C. La época más fría dura 5 meses, de julio a noviembre, con una temperatura promedio inferior a 19 °C. El día del año cuando el agua estuvo más caliente registrado hasta el 2016 se dio en el mes de febrero, con una temperatura promedio de 23 °C, mientras que el día del año cuando el agua estuvo más fría se dio en el mes de septiembre, con una temperatura promedio de 18 °C (Weather Spark, 2016).

#### **2.1.4 Historia de Sechura**

Se dice que Sechura tuvo tres fundaciones:

### **Primera fundación**

El territorio sechurano fue poblado desde hace más de 7 000 años y se conformó como una gran nación étnica hacia los años 400 a.C., con una cultura propia, ideología y una genuina lengua-dialecto el “Sec”. Los pobladores sechuranos desarrollaron diversas actividades productivas como la pesca y conocían a profundidad los cambios de la ecología marina y su influencia en el ritmo biológico de los peces que se exportaban salados a otras provincias. De igual manera conocían el desierto y dominaron sus rutas invisibles guiados por las estrellas para no perderse en la infinitud del mar (Municipalidad Provincial de Sechura, 2010).

Las civilizaciones Chusis e Illescas fueron acosadas por la expansión de moches (siglo VI d.C.), chimús (siglo XII) y posteriormente por el expansionismo de los incas (fines del siglo XV), atraídos por la ambición de conquista frente a los pueblos y sus organizaciones que se consolidaban como grandes culturas (Municipalidad Provincial de Sechura, 2010).

Esta etapa duró hasta 1572 en el asiento prehispánico que se denomina “Sechura la Antigua”. Testimonios sostienen que la primera población de sechuranos estuvo en Punta Aguja (Municipalidad Provincial de Sechura, 2010).

### **Segunda fundación**

Se dio en 1572 con la fundación de San Martín de Sechura por el visitador Bernardino de Loayza, en el marco de la visita general ordenada por Francisco de Toledo. Fue una tarea difícil obligar a los indígenas a pasar de asentamientos dispersos a vivir en centros poblados (Municipalidad Provincial de Sechura, 2010).

Para los historiadores es de extrañeza que este pueblo haya sido fundado cerca del río y dando frente al mar, porque los antiguos sechuranos tenían memoria de los estragos que causaba el mar y el río en tiempos de El Niño. Por eso, es posible que los principales se opusieran, pero por otras razones como las geopolíticas, se asentaron en esa zona de riesgo (Municipalidad Provincial de Sechura, 2010).

Esta reducción o nuevo pueblo llamado San Martín de Sechura fue ubicado lejos de espacios religiosamente comprometidos como Illescas y Chusis, y se prefirió un lugar plano, casi desértico, donde pudieran evitar recordar a los ancestros, aunque no pudieran evitar el mar y la cercanía del río (Municipalidad Provincial de Sechura, 2010).

Cabe resaltar que la geopolítica de aquel entonces era muy diferente de la actual, ya que en 1572 el centro español más importante era Paita. La nueva ubicación favorecía a los encomenderos porque estaba cerca al puerto de Paita, donde se exportaban los productos tributados por los sechuranos, especialmente tollos y sardinas, que eran transportados en balsas a Paita y de allí en barcos a Lima y a otros lugares (Municipalidad Provincial de Sechura, 2010).

En 1578 se produjo el Niño más fuerte de todo ese siglo, el cual ocasionó el desplazamiento de algunos pueblos de Piura, especialmente San Martín de Sechura, ubicado en una zona inundable, lo que obligó a los pobladores a regresar a las partes altas de Illescas. Pero Francisco de Toledo insistió en su política de reducción de pueblos para facilitar la conversión, y por ello, pese a la disconformidad de los principales, tuvieron que regresar.

Sin embargo, este pueblo fue destruido por el maremoto y aluvión de 1728 y, desde entonces, la gente la recuerda como “Sechura Vieja” (Municipalidad Provincial de Sechura, 2010).

### Tercera fundación

Se dio después de la catástrofe de 1728, provocado por intensas lluvias que se concentraron desde Trujillo hasta Piura. La mayoría de los pobladores emigraron y poblaron el sitio donde en la actualidad se encuentra (Municipalidad Provincial de Sechura, 2010).

## 2.2 Sechura y el FEN

Según el informe del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (2020), las zonas áridas de América Latina (ver Figura 28) se volverán más vulnerables a la desertificación debido al incremento de la población en estas zonas teniendo implicancias para los medios de vida y la seguridad alimentaria. La provincia de Sechura tiene la porción más extensa del Desierto de Sechura, uno de los más áridos del mundo (MINAM - PNUD, 2021).



**Figura 28. Mapa de zonas áridas en América Latina**

Fuente:

[https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/WEB-IPCC-Land\\_Latin-America\\_Spanish\\_24March2020.pdf](https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/WEB-IPCC-Land_Latin-America_Spanish_24March2020.pdf)

A pesar de ello, su ubicación geográfica y sus características ecológicas únicas, han hecho que florezca una impresionante biodiversidad, destacando por su flora y fauna de reconocimiento internacional. Sin embargo, estas se ven afectadas durante épocas del FEN, donde se producen lluvias de gran intensidad, llegando a superar en 20 veces los valores normales, y también ocasiona fuertes erosiones que ponen en movimiento sedimentos que van a depositarse en los valles y depresiones de dicho desierto (MINAM - PNUD, 2021).

Por un lado, el FEN ocasiona un cambio en el ecosistema marítimo tradicional, lo cual impacta en el medio de vida de la población; sin embargo, las aguas también inundan el desierto de Sechura, formando lagunas, las cuales brindan nuevas oportunidades para la pesca y la agricultura (Municipalidad Provincial de Sechura, 2010). Además, la vegetación y algunos árboles aprovechan las aguas superficiales y logran tener un crecimiento mayor al normal como se ve en la Figura 29 (Macharé, Ortlieb, Woodman, & Guevara, 1990).



**Figura 29. Mapa comparativo de cambios estacionales en la extensión de las lagunas Salinas y La Niña**

Fuente: MINAM - PNUD (2021).

Sechura es la única provincia del Perú que posee tres tipos de humedales: un estuario (Virrilá), lagunas costeras (Ñapique y La Niña) y manglares (San Pedro y Chulliyache). Debido a la influencia por el encuentro de la Corriente Cálida Ecuatorial y la Corriente Fría de Humboldt, y también por la presencia de un sistema de afloramientos importante para la productividad de la Bahía de Sechura, estos presentan características ecológicas únicas (MINAM - PNUD, 2021).

Los humedales de Sechura están ubicados en la parte baja de la cuenca del río Piura, la cual se encuentra influenciada directamente por las lluvias estacionales y del Fenómeno El

Niño. En la actualidad, la presencia, extensión y el régimen hídrico de estos humedales está relacionado en gran parte al comportamiento hídrico del río Piura, cuyo régimen y desembocadura han cambiado a lo largo del tiempo, y adicional a esto, el drenaje que se produce de los valles agrícolas del Bajo Piura (MINAM - PNUD, 2021).

Un dato curioso es que, hasta 1891, el río Piura desembocaba en el Océano Pacífico cerca de la ciudad de Sechura, pero producto de los ENOS del siglo XIX, el río movió su desembocadura hacia la parte central del desierto; y es a partir de 1891 que, producto de las inundaciones provocadas por el FEN, el río terminó desembocando en el entonces lago Ramón. Sin embargo, es durante el FEN de 1983 que el río Piura regresó a su cauce original. Esta reactivación de salida al mar por la bocana San Pedro, generó condiciones para el rebrote de los manglares que, debido al anterior cambio del curso del río, habían desaparecido (MINAM - PNUD, 2021).

En el caso de las lagunas de Ñapique (ver Figura 30) y Ramón, estuvieron llenas luego del FEN de 1891 y 1926, pero luego se secaron intermitentemente hasta 1973 desde cuando se volvieron más permanentes. La laguna Salinas (al sur de Ramón y Ñapique) también era estacional durante este periodo, pero con las inundaciones del FEN de 1998, se expandió tremendamente hacia el sur formando un lago, y es a partir de ese año que también se volvió más permanente (MINAM - PNUD, 2021).



**Figura 30. Vista de la laguna Ñapique en época seca (arriba) y época húmeda (abajo)**

Fuente: MINAM - PNUD (2021).

Sin embargo, los eventos FEN no solo aportan cantidad de agua a estas lagunas, sino también una cantidad significativa de sedimentos, que ocasiona que se eleve el lecho de estos cuerpos y disminuya la superficie como es el caso de la Laguna Ramón, que pasó de una

superficie de 35 km<sup>2</sup>, en 1973 a 4 km<sup>2</sup> en el 2007, y actualmente solo ha quedado una parte muy reducida a la que localmente la llaman laguna Tizal (ver Figura 31). Esta colmatación no sucedió con la Laguna Ñapique debido a que no está en el cauce principal del río (MINAM - PNUD, 2021).



**Figura 31.** Mapa comparativo del cambio en dimensiones de la antigua Laguna Ramón

Fuente: MINAM - PNUD (2021).

Las proyecciones de cambio climático en la cuenca del río Piura indican un aumento de temperatura de 1.6 °C cada 25 años, pero también estiman que la intensidad y frecuencia de los ENSO aumentará en el futuro. Si bien esto podría tener impactos negativos en el desarrollo socioeconómico y la infraestructura, su impacto en la biodiversidad del desierto sería muy positivo (MINAM - PNUD, 2021).

En los últimos eventos FEN como en el de 1982-1983, la región de Piura fue la zona más afectada en infraestructura y servicios básicos. Se vieron afectados distritos como Castilla, Curamori, La Arena, entre otros. Sechura, fue afectado en menor grado, sin embargo, sus calles presentaban constantes inundaciones. En total en Piura fueron afectadas 28,560 viviendas (Galarza & Kámiche, 2012).

Las pérdidas de en agricultura y pesca en ese año fueron de aproximadamente 186.1 millones de dólares. Muchas de las pérdidas en la agricultura se debieron a destrucción en la infraestructura de riego, de las vías de comunicación que limitó el acceso a las zonas agrícolas (Galarza & Kámiche, 2012).

En el evento de 1997-1998, los efectos se empezaron a notar a finales de marzo de 1997. Debido a las altas temperaturas, la aparición de plagas y la modificación del ciclo

evolutivo de las plantas, la producción agrícola empezó a reducir. En Piura se perdió un total de 6,844 hectáreas de superficie agrícola (Galarza & Kámiche, 2012).

En 1998, la industria pesquera fue arruinada debido a que el FEN modificó las condiciones marinas, lo cual trajo consecuencias como las migraciones de especies marinas como la anchoveta y los langostinos, estos último migraron de Tumbes a Sechura. Por otro lado, la concha de abanico reaccionó positivamente a los eventos, encontrándose mayores volúmenes en zonas como Sechura (Galarza & Kámiche, 2012).

En el 2017, El Niño Costero volvió a devastar el norte de Perú. Surgieron brotes de enfermedades como la malaria, el dengue y el zika que infectaron a cientos de personas y las grandes inundaciones causaron la pérdida de vidas, infraestructura y medios de vida. En Sechura volvieron a brotar lagunas temporales, las cuales se convirtieron en importantes fuentes de alimentos por sus peces, y cultivos para el comercio y el consumo local. Adicional a esto, estudios realizados por IMARPE estimaron que, en dicho año, la laguna La Niña alcanzó un espejo de agua máximo de 2172 km<sup>2</sup>, con un tiempo estimado de secado de aproximadamente 2 años (Inguil, Gomez, Bonnamy, & Gomez, 2021).

La comercialización y preservación de la pesca ha pasado de ser una labor muy manual, como cuentan los antiguos sechuranos (Niño del 1982/83), a ingresar el producto directamente en camiones con cámaras frigoríficas cerca de la laguna “La Niña” (Niño del 2016/2017). De esta manera se logró comprar directamente a los pescadores y abastecer los mercados locales y nacionales con pescado fresco. Sin embargo, son pocos los pobladores que tienen la capacidad económica para hacerlo, debido a que no cuentan con los medios necesarios para poder ingresar al desierto y trasladar sus capturas a los mercados con una adecuada refrigeración (Inguil, Gomez, Bonnamy, & Gomez, 2021).

En cuanto a la agricultura, los habitantes de las zonas altas del desierto tienen la percepción de que después del Fenómeno El Niño, el suelo queda húmedo y apto para la siembra, debido a que el desbordamiento del río trae sedimentos de otras zonas altoandinas y lo fertiliza naturalmente. La humedad del suelo es muy utilizada para cultivos estacionales como el camote, el frijol, la calabaza, el maíz, el algodón, etc (Inguil, Gomez, Bonnamy, & Gomez, 2021).

Por otro lado, los centros poblados ubicados en las zonas más bajas cuentan con sistema de riego e infraestructura urbana, y sus principales cultivos son el arroz, maíz, menestras, camote y frutales. Sin embargo, los pobladores no consideran El Niño como una bendición, ya que sus parcelas quedan totalmente inundadas por varios meses y durante este tiempo no pueden sembrar. Incluso sucedió que, en el FEN del 2017, muchos campos se inundaron antes de la cosecha, lo que generó grandes pérdidas económicas a los agricultores. Adicional a ello, la humedad de las lluvias incrementó la mortalidad de su ganado (Inguil, Gomez, Bonnamy, & Gomez, 2021).

## 2.3 Actividades productivas de Sechura

Según el Reporte de Comercio Regional Anual Piura 2020 del Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR, 2021), Piura es una de las tres regiones más importantes del Perú (4% del PBI), después de Arequipa y La Libertad, la más poblada (2 millones de habitantes) y la que más contribuye a la exportación no tradicional (16%). Su economía es diversificada y se basa en la agricultura, pesca, hidrocarburos, turismo y comercio (Cabrejos, 2011).

Para el caso de la provincia de Sechura, su sistema productivo también se basa en la agricultura, pesca, minería, entre otras actividades (Municipalidad Provincial de Sechura, 2018). Una observación relevante es que casi la mitad de la PEA ocupada, mayor de 14 años, tiene como actividad principal al sector Agropecuario y la Pesca. Aproximadamente el 22% tiene como actividad económica principal a la agricultura y ganadería, y un poco más del 20% se dedica a la pesca (Municipalidad Provincial de Sechura, 2010). Esto hace de la agricultura y la pesca unas de las actividades productivas más importantes.

### 2.3.1 Sector agrícola

Piura es el primer productor nacional de mango y limón, el segundo en arroz, algodón y camote, y el tercero en banano. El potencial agrícola de Piura se divide en 4 distritos de riego: Medio y Bajo Piura-Sechura, Chira, San Lorenzo y el Alto Piura. La ciudad de Sechura se encuentra en el primer distrito de riego junto con las ciudades de Piura, Castilla y Catacaos (Cabrejos, 2011).

Sechura cuenta con un total de 1081 unidades agropecuarias y es de gran importancia para la ciudad. Muestra orientación al mercado local, regional e internacional, pero a nivel primario aún con muchas deficiencias (Municipalidad distrital de Sechura, 2019).

En Sechura predominan los agricultores individuales. Según una entrevista realizada a pequeños agricultores (ver Apéndice 7), la agricultura en Sechura es regulada por La Junta de Usuarios Sector Hidráulico Menor Sechura o Junta de Usuarios del Medio y Bajo Piura, la cual administra las tarifas de agua con fines agrícolas (Ayala, Ramos, & Timaná, 2022). Es importante mencionar que el agua proporcionada por la Junta deriva de la Cuenca binacional Catamayo-Chira, la cual está conformada por territorio de Ecuador y Perú, correspondiente a la provincia de Loja y el departamento de Piura respectivamente. En el caso de Piura se encuentran las provincias de Sullana, Ayabaca, Huancabamba, Morropón, Paita, Talara y Piura (Enríquez-Beck, 2016). Por ello, los agricultores de Sechura dependen de las lluvias de del territorio en el que se encuentra la cuenca.

Por otro lado, la Junta decide qué sectores tienen permiso de cultivar arroz. Aquellos agricultores que no son designados para la cosecha de arroz escogen qué producto sembrar. Entre los productos alternativos para la siembra se encuentra el maíz, pepinillo, pimienta, caupí, entre otros. Los agricultores piden prestado de forma individual a los bancos para

realizar su cosecha, y si hay alguna pérdida por factores climáticos como el FEN, quedan con deudas, lo cual no les permite recuperar rápidamente su inversión (Ayala, Ramos, & Timaná, 2022).

A lo largo del tiempo, los cultivos que han logrado mayor rendimiento en Sechura son el arroz, el algodón y el maíz, por lo que, cuentan con la mayor cantidad de hectáreas, como se puede observar en la Figura 32.

Cultivos transitorios	Hectáreas
Arroz	1030,25
Maíz amarillo duro	72,36
Maíz choco	41,88
Frijol grano seco	78,48
Zarandaja grano seco	40,66
Algodón	612,46
Sub-total	1876,09
Cultivos permanentes	Hectáreas
Limón	0,72
Tamarindo	7,15
Vergel frutícola	42,56
Sub-total	50,43
<b>Total</b>	<b>1926,52</b>

**Figura 32. Principales cultivos de Sechura**

Fuente: Municipalidad distrital de Sechura (2019).

Para el presente estudio, se han seleccionado cultivos principales y alternativos del sector. Se analizará el comportamiento de los cultivos a través del rendimiento, producción y cosecha en un periodo determinado.<sup>8</sup>

**2.3.1.1 Arroz.** El arroz es una planta gramínea, de la que se estima unas 2000 variedades. Puede llegar a alcanzar hasta 1.8 m de altura. Su nombre científico es *Oryza sativa*, el grano es su principal presentación, el cual se embolsa en distintas presentaciones para el alimento a nivel mundial (MINAGRI, 2010).

Según el calendario de siembra y cosecha del Minagri, en el Perú el arroz se siembra todo el año, pero tiene una mayor concentración en los meses de agosto y marzo, donde se acumula cerca del 80 % del área sembrada de la campaña agrícola (MINAGRI, 2017). El arroz es un producto fácil de almacenar, además su proceso vegetativo tarda entre 100 a 130 días.

---

<sup>8</sup> Rendimiento (T/ha): El rendimiento del cultivo seleccionado obtenido en el área de análisis, según las prácticas de producción agrícola existente, expresado en toneladas por hectárea. Producción (T/Año): La cantidad del cultivo analizado producido en un año calendario en el área de análisis, según las prácticas de producción agrícola existente, expresada en toneladas. Cosecha (Ha): La superficie del terreno utilizado para la producción del cultivo analizado, expresada en hectáreas. <https://www.fao.org/3/bp851s/bp851s.pdf>

El arroz que se obtiene al ser cosechado es conocido como arroz cáscara, sin embargo, este no es el producto final. El arroz cáscara debe pasar por un proceso de pilado y pulido para obtener arroz blanco. Es así como el producto se transporta a los molinos para pasar dicha transformación. A nivel nacional, en el año 2011, se contó un total de 591 molinos, de los cuales 103 se encontraban en la región de Piura, para el año 2016 se contabilizaron 636 molinos, de los cuales 108 pertenecen a Piura, siendo la región con mayor cantidad de molinos (MINAGRI, 2017).

### **Condiciones Agroclimáticas**

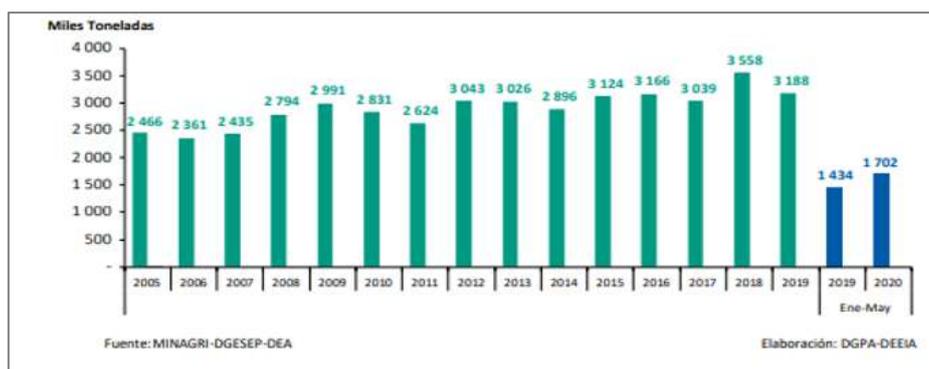
El arroz es un cultivo tropical y subtropical, aunque la mayor producción a nivel mundial se concentra en climas húmedos, también se puede cultivar en climas templados. Las precipitaciones condicionan el sistema y las técnicas de cultivo, dependiendo la zona, estas pueden ser más frecuentes (MINAGRI, 2010). La humedad por su parte no tiene efectos directos en el cultivo, sin embargo, ejerce influencia en cuanto a las plagas que puedan atacar al cultivo. La partes medias y bajas de la costa norte tienen humedades menores a 80 %, por lo cual, no hay gran cantidad de problemas sanitarios (MINAGRI, 2010). La humedad relativa óptima para el crecimiento del arroz es de un 65% (MINAGRI, 2019).

En el caso de la temperatura, el arroz necesita un mínimo de 10 a 13 °C para germinar, y una temperatura óptima de 30 a 35 °C. Por encima de los 40 °C no se produce la germinación (MINAGRI, 2010). En cuanto al crecimiento de las hojas, raíces y tallo, se considera un mínimo de 7°C y un óptimo de 23 °C (MINAGRI, 2010). En general, la temperatura óptima para el desarrollo del cultivo oscila entre los 25 y 30°C, temperaturas muy características de la costa norte del Perú (MINAGRI, 2019).

La textura del suelo también juega un papel importante en las técnicas de cultivo, el arroz se puede desarrollar en distintas texturas, tanto arenosas como arcillosas. Sin embargo, se suele cultivar en suelos de textura fina, ya que, al contener más arcilla, suelen ser más fértiles. Por último, el agua es un factor importante para el desarrollo del cultivo, y en la costa norte del Perú llega a consumir 16000 m<sup>3</sup> de agua (MINAGRI, 2010).

### **Producción de arroz en Piura y Sechura**

Según la FAO (2017), el Perú ocupa el 21° lugar en la producción de arroz a nivel mundial y el 3° en América y 2° en Sudamérica después de Brasil (MINAGRI, 2019). Así también, según un informe de la dirección general de políticas agrarias del año 2017, del año 2001 al año 2016 la producción de arroz creció a un ritmo de 3.1% (MINAGRI, 2017). En el año 2018 el volumen de producción alcanzado fue de 3.55 millones de toneladas, sin embargo, para el 2019 hubo un drástico decrecimiento de -10.4%, como se puede observar en la Figura 33 (MINAGRI, 2020).

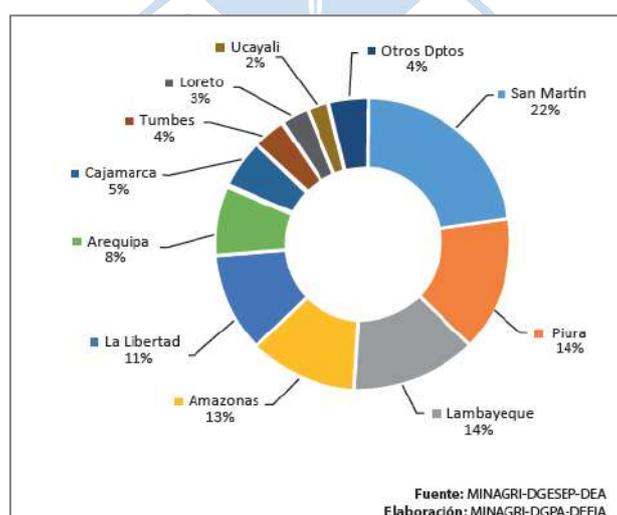


**Figura 33. Comportamiento de la producción nacional de arroz cáscara**

Fuente: MINAGRI (2020).

Entre los años mencionados, la superficie cosechada creció a un ritmo de 2.2% anual y las zonas que obtuvieron mayores cosechas fueron las regiones de San Martín, Amazonas y Piura. En cuanto a producción, las principales regiones son San Martín, Piura, Lambayeque y Amazonas. Para el año 2016, Piura ocupó el segundo lugar en producción con un 19% del total y el cuarto lugar el rendimiento con un valor de 8.8 (MINAGRI, 2017). Así mismo, Piura concentra el mayor número de productores, seguido de San Martín y Loreto (MINAGRI, 2017).

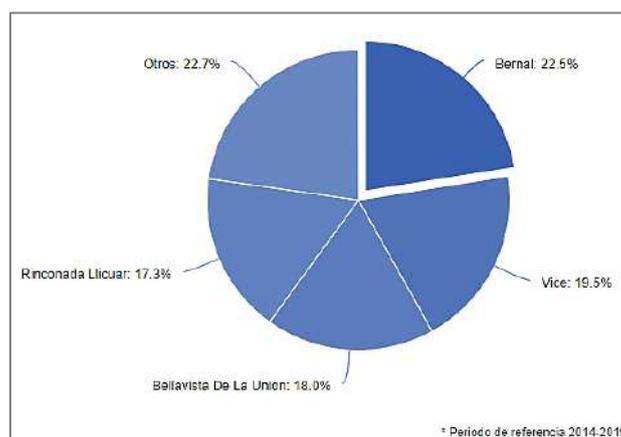
La región de Piura es la segunda mayor productora de arroz, solamente superada por San Martín, como se puede observar en la Figura 34. La diferencia de ambas regiones es la disponibilidad de agua, en Piura suele ser escasa. Sin embargo, se sigue sembrando debido al buen precio, su clima templado durante todo el año, facilidad de almacenamiento y acceso a agua a bajo costo (BCRP, 2008). La disponibilidad de agua en la región proviene de los Ríos Piura, Chira y Huancabamba, siendo la cuenca del Río Piura la que discurre al desierto de Sechura (Cabrejos, 2011).



**Figura 34. Principales departamentos productores de arroz cáscara en el Perú**

Fuente: MINAGRI (2019).

En Sechura los distritos con mayor siembra y cosecha de arroz son Bellavista de la Unión, Bernal, Rinconada Llicuar y Vice, tal y como se puede ver en la Figura 35. El arroz del valle de Sechura se vende a Piura, Sullana, Chiclayo. La variedad sembrada es Pompeyo, resistente a las plagas. Variedad tinajones no soporta el frío, es así como cada variedad tiene distintas características. Según los agricultores de la zona, lo que más evalúan los compradores es cantidad que calidad, por lo que ellos miden una buena inversión con datos de rendimiento por hectárea.



**Figura 35. Distribución distrital de siembras de arroz de Sechura (%)**

Fuente: SIEA & MIDAGRI (2021).

Por otro lado, Perú ocupa el lugar 19 en exportaciones mundiales (MINAGRI, 2020) y el puesto 44 en importaciones a nivel mundial. Se destinan en su mayoría a Colombia, sin embargo, estas han sido poco estables en los últimos años. Por ejemplo, en el año 2009 se exportó 48 mil TM, pero luego fueron decayendo en los siguientes 2 años. Otros países de destino del arroz en ese año fueron Turquía e Israel en el Medio Oriente, y Panamá y Ecuador en América Latina (Ministerio de Agricultura, 2010). En los años 2014 -2015 las exportaciones fueron mínimas debido a la baja demanda de Colombia. Para el año 2016 Perú exportó cerca de 8 600 TM, de las cuales 97% fue destinado a Colombia, sin embargo, para el año 2017 las exportaciones cayeron considerablemente debido a la reducción de la demanda (MINCETUR, 2018).

Por último, la producción de arroz también se ve afectada con el fenómeno el Niño, por ejemplo, en el año 2017 la participación de Piura y Lambayeque se redujo. Es así, que en este año la producción nacional se redujo un 4 % debido a los desastres naturales que se registraron en el País. Estos hechos hicieron que las importaciones crecieran en un 38% para cubrir la producción interna (MINCETUR, 2018). Mientras que normalmente, el 84% del consumo local es cubierto por la producción local y solo un 16 % es cubierto por importaciones (MINCETUR, 2018).

### Análisis del rendimiento de la producción de arroz en Sechura

En el Figura 36 se puede observar la producción, cosecha y rendimiento del cultivo arroz. Para la producción se aprecia la tendencia positiva, esto se puede deber a diversos factores, entre ellos, las nuevas tecnologías en los sistemas de riego. En cuanto a superficie cosechada el menor valor se da en el año 1996 y el mayor en los años 1999, 2012, 2015, 2016-2018. Además, el rendimiento se mantiene en un rango de 4 515 y 7 963 kg/ha aproximadamente. Los valores más bajos se alcanzan en los años 1999, 2002 y 2017 con 5596 kg/ha, 4987 kg/ha y 4515 kg/ha respectivamente. Por otro lado, los valores más altos en rendimiento son 1997, 2000, 2001, 2005, 2009 y 2014, alcanzando du valor máximo en 1997 con 7963 kg/ha. Así también, en el fenómeno de 1998 en rendimiento decayó una variación de 15.5% con respecto al año anterior y en el año 2017 decayó un 13.8 % con respecto al año anterior.

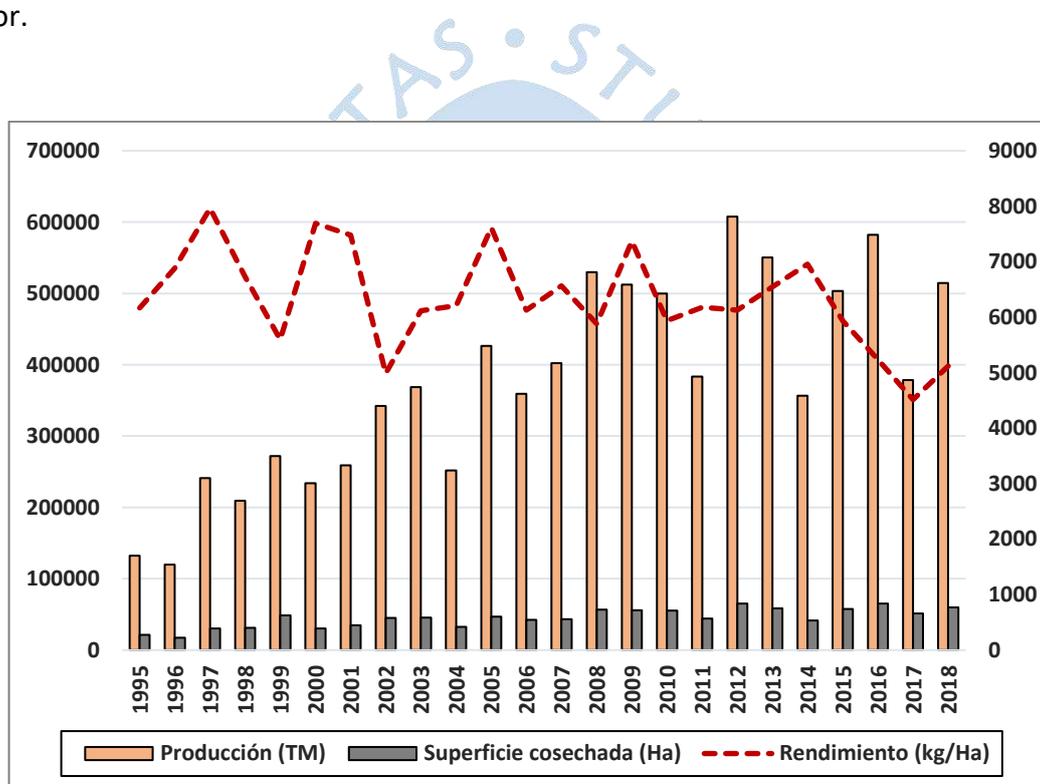


Figura 36. Rendimiento del arroz en Sechura (1995 - 2017)

Fuente: Elaboración propia.

**2.3.1.2 El Maíz.** El maíz junto al arroz y trigo constituye uno de los principales alimentos cultivados en el mundo, tanto para humanos; también para animales, como aves, cerdos, vacas y otros. Su nombre científico es *Zea mays* L. var. *Indurata* (MINAGRI, 2018).

En el Perú se siembra especialmente en la costa y casi todo el año, siendo sus picos de siembra en los meses de setiembre y febrero; y de cosecha en junio y diciembre. Su periodo vegetativo es de 4.5 a 5.5 meses según la variedad (MINAGRI, 2015). En la costa norte se puede sembrar este tipo de maíz durante todo el año, pero las mejores siembras son en invierno

entre marzo y julio y en verano de octubre a diciembre. Además, en la cosecha, predominan los meses de noviembre, diciembre y enero (MINAGRI, 2019).

Según el SENAMHI, el maíz amarillo duro es el tercer cultivo en importancia a nivel nacional y tiene una relevancia fundamental debido a que forma parte de la avicultura y la porcicultura (Yzarra, Trebejo, & Noriega, 2010).

### **Condiciones Agroclimáticas**

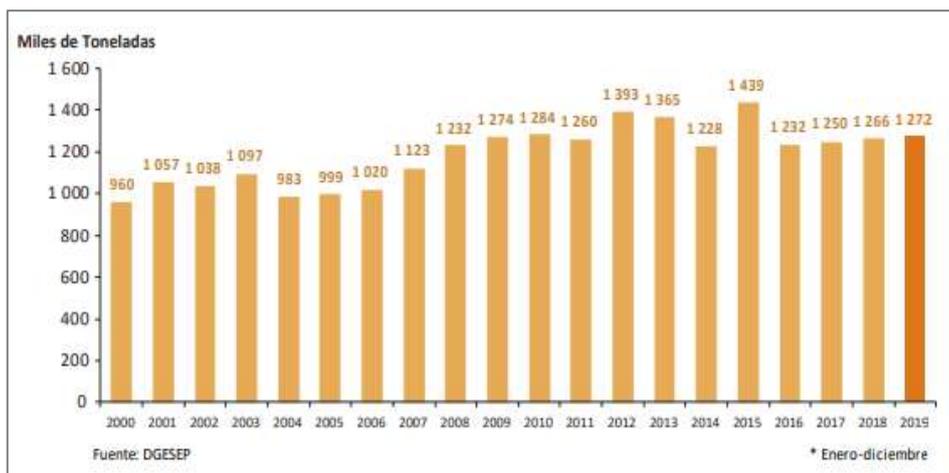
La temperatura es el elemento primario que influye sobre el maíz. Se tiene como temperatura óptima de 15°C a 25°C para todo el proceso de crecimiento del cultivo (MINAGRI, 2019). Las temperaturas fuera del rango pueden tener efectos negativos sobre la fotosíntesis, la translocación, la fertilidad de las florecillas, el éxito de la polinización y otros aspectos del metabolismo. En el caso de las zonas tropicales bajas, se puede dar las condiciones de temperaturas por encima de las óptimas. Por otro lado, también es un cultivo sensible al frío y sufre daños a temperaturas entre 0° y 10°C (Yzarra, Trebejo, & Noriega, 2010).

La precipitación para el maíz necesita ser de por lo menos 500 a 700 mm durante el ciclo de cultivo. El umbral mínimo de precipitación es de 150 mm, sin embargo si las temperaturas son elevadas la demanda evaporativa es mayor y no será suficiente para el cultivo. El efecto de sequía puede afectar al crecimiento del cultivo (Yzarra, Trebejo, & Noriega, 2010).

La humedad óptima es de 60-80% y requiere de 10 a 14 horas de sol por día. Se adapta a distintos tipos de suelo que presentan estructura media, como los arenosos o arcillosos, El consumo de agua del cultivo es de 3000 a 3500 m<sup>3</sup>/ha cuando se utiliza riego tecnificado y por gravedad es de 7 000 m<sup>3</sup>/ha (MINAGRI, 2019).

### **Producción de maíz en Piura y Sechura**

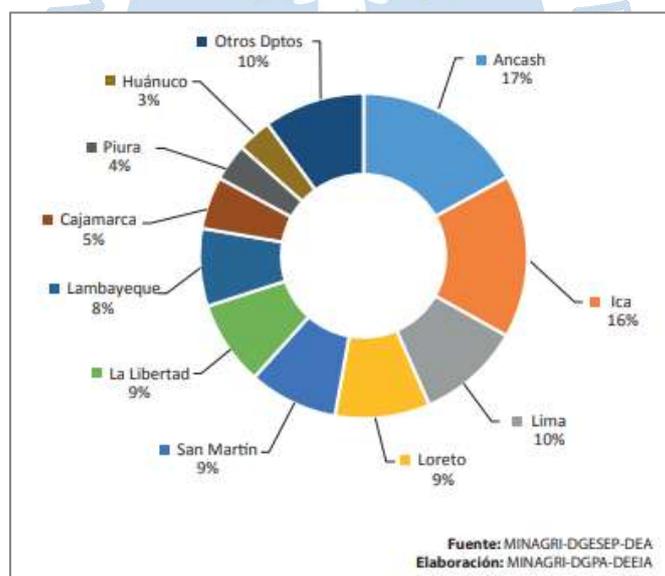
Como se mencionó, el maíz es considerado el tercer cultivo más importante a nivel nacional. La producción en los últimos años en el Perú ha oscilado alrededor de 1.2 millones de toneladas, alcanzando en el año 2015 un total de 1.4 millones de toneladas. En la Figura 37 se muestra la evolución de la producción en el Perú desde el año 2000 al 2019 (MINAGRI, 2020).



**Figura 37. Comportamiento de la producción nacional de maíz amarillo duro**

Fuente: MINAGRI (2020).

El maíz amarillo duro se siembra en distintas partes del Perú. Como se puede ver en la Figura 38 Piura representa un 4% de la producción total de maíz en el Perú, de un total de 1 265 072 t producidas en el año 2018. Además, en Piura se cosecha maíz en Piura, Ayabaca, Morropón y Sechura (MINAGRI, 2019).

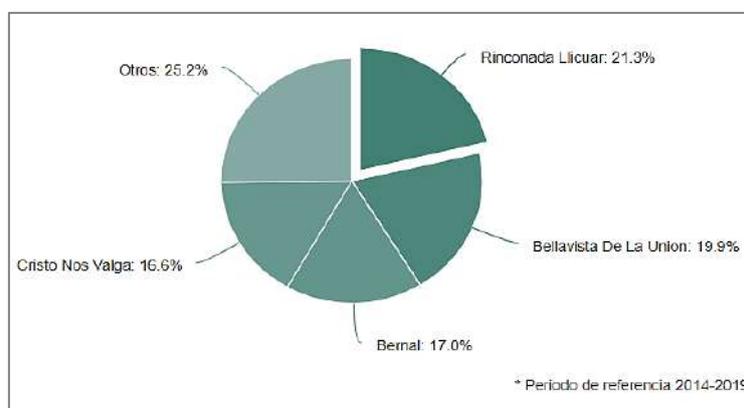


**Figura 38. Principales productores de maíz amarillo duro**

Fuente: MINAGRI (2019).

En la costa se siembra maíz amarillo duro de manera intensiva, utilizando agua de riego superficial procedente de ríos o subterránea. La costa norte es la región con mayor producción de maíz amarillo duro en el país. Se han identificado nueve razas: Tumbesino, Alazán, Arizona, Mochero, Pagaladroga, Rienda, Pardo, Huachano y Kullli (Morado). En Sechura se encuentra

la raza Alazán (MINAM, 2015). En Sechura se encuentra cultivos de maíz en los distritos de Cristo Nos Valga, Bernal, Rinconada Licuar y Bellavista (MINAM, 2015).



**Figura 39. Distribución distrital de cosechas de Maíz Amarillo Duro de Sechura (%)**

Fuente: SIEA & MIDAGRI (2021).

Perú ocupa el lugar 35 en exportaciones en el mundo, según un informe del 2019 del MINAGRI, en el año 2018-2019 se exportó aproximadamente 10 mil toneladas de maíz amarillo duro, este número ha ido aumentando a lo largo de los años. Cabe mencionar que a pesar de que Perú produce este cultivo, ocupa el lugar 14 en importaciones. La producción nacional no logra cubrir la demanda interna, lo cual hace que el país importe 75 % aproximadamente, esto ha sido aprovechado por países como Estados Unidos y Argentina principalmente (MINAGRI, 2019).

Por último, el Perú muestra gran vulnerabilidad ante la variabilidad climática, debido a las precipitaciones y altas temperaturas. Una evidencia de ello son las pérdidas económicas en los años 1982-1983 y 1997-1998 (SENAMHI, 2017). Así también, para el año 2016 la producción de maíz amarillo duro cayó en un -10% debido a la presencia de El Niño Costero (MINAGRI, 2019). Existen varios estudios sobre la asociación de la variabilidad climática y el rendimiento de cultivos. Entre ellos, un estudio hecho en 1996 sobre la influencia de la precipitación en el rendimiento del maíz en Brasil, donde se observó una fuerte correlación positiva. Además, otros estudios muestran que en año de El Niño el 35 % de las cosechas de maíz amarillo duro se categorizaron como bajas y solo el 23 % en rendimientos altos (SENAMHI, 2017).

### **Análisis del comportamiento del maíz en Sechura durante 1995-2018**

En la Figura 40 se observa que, en comparación al año anterior, en el año 1998 la producción anual de maíz presentó un aumento de aproximadamente 65%, siendo la superficie cosechada 67% mayor y el rendimiento de la producción ligeramente menor. Desde

1998 al 2015, se ve una ligera tendencia ascendente de la producción, de la superficie cosechada y del rendimiento anual del maíz, siendo 2011 el año pico, con valores de 82 081 TM, 20 673 Ha y 44 461 kg/ha, respectivamente. Del año 2012 al 2015, se observa una caída brusca, principalmente del rendimiento. El rendimiento aumentó en el 2016, sin embargo, a partir del año 2017, vuelve a presentar una tendencia decreciente hasta el 2018, debido principalmente al evento del Niño costero del 2017. En el 2018, los valores llegaron a ser los más bajos de la década, con valores de 28 652 TM, 8260 Ha y 3 237 kg/ha, respectivamente.

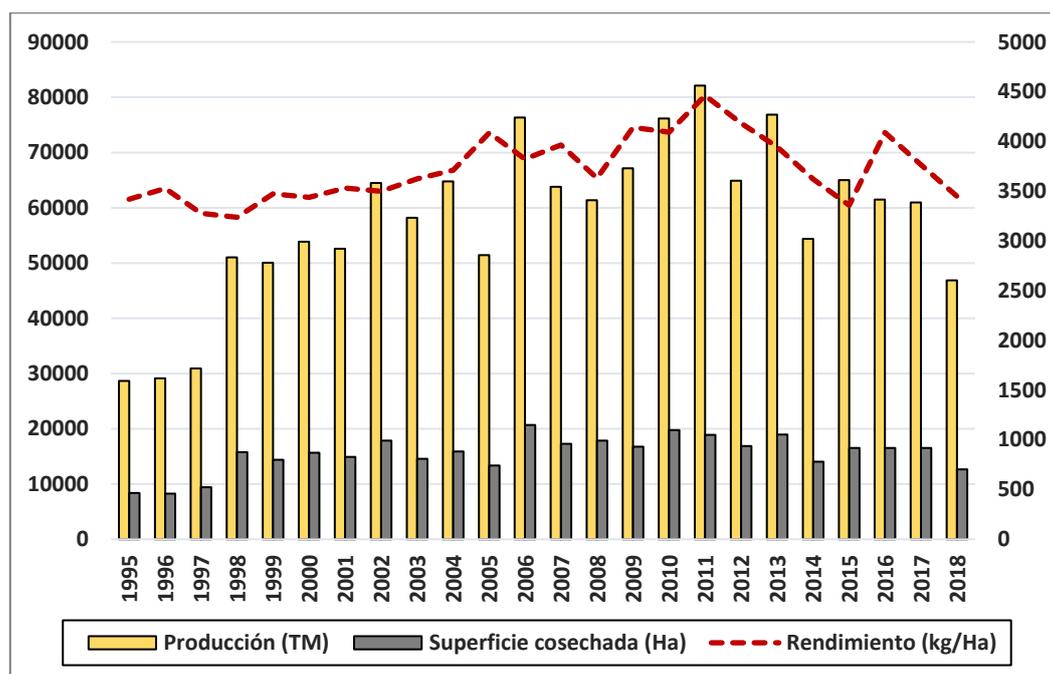


Figura 40. Rendimiento de la producción del maíz (1995-2017)

Fuente: Elaboración propia.

**2.3.1.3 El Limón.** El limón es un cultivo permanente, el cual se siembra y cosecha todo el año, principalmente en la zona norte del país. Las variedades que se producen son el limón Sutil y el limón Tahití, destacando el primero por su mayor volumen de producción (DGPA-MINAGRI, 2017).

El limón sutil, de nombre científico *Citrus aurantifolia swingle*, perteneciente al género citrus. En el Perú crece mayormente en la costa y selva (MINAGRI, 2015). Por otro lado, el limón Tahití, también conocido como limón persa, su nombre científico es *Citrus latifolia*. De igual forma crece en la Costa, Selva y algunas zonas de la sierra como (SIICEX, 2014).

Los principales productores de este tipo de Limón son Perú, México, Brasil y Colombia. En Perú, la región con mayor producción de Limón es Piura y es accesible en los sectores comerciales durante todo el año, según su variedad sin embargo se presenta un ligero descenso en la producción durante los meses de setiembre y octubre. La época de floración

del limón es en marzo y abril, noviembre y diciembre (Lopez, 2018). Además, cabe resaltar que el limón se cosecha después de 4 años de siembra (ANDINA, 2017).

### **Condiciones Agroclimáticas**

En general, las temperaturas óptimas para el cultivo de los cítricos son las comprendidas entre 23 °C y 30 °C, es decir se desarrolla en climas tropicales y subtropicales. El límite de resistencia al frío depende de muchas características como el estado fisiológico de las plantas en la época de temperaturas más bajas, del órgano considerado, de la especie y la variedad y de la duración del periodo de frío. Las temperaturas menos a 12 °C pueden modificar su coloración, equilibrio de azúcares y acidez, la planta puede morir a -8 °C en el limonero. El límite superior de temperatura se calcula en 36 °C aproximadamente (MINAGRI). Temperaturas mayores a 36°C pueden acelerar la maduración de los productos (Lopez, 2018).

Para el caso de la humedad relativa, el rango apropiado se considera en las proximidades de 40 y 70%; cuando es alto, causa enfermedades y/o muerte de la planta. Otro factor es la luz solar, imprescindible para su desarrollo y crecimiento, esto puede influir en su color y sabor (Lopez, 2018).

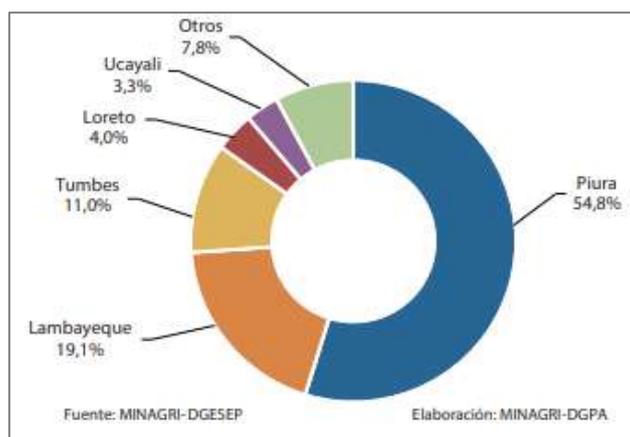
En cuanto a la precipitación, es importante un suministro satisfactorio de agua, por ello es deseable cosechar en lugares donde la precipitación es de 400 a 1 200 mm por año (Lopez, 2018).

Por otro lado, su consumo de agua es de 16000 m<sup>3</sup>/ha aproximadamente en el riego por gravedad, y en riego por goteo el consumo es de 9500 m<sup>3</sup>/ha aproximadamente (MINAGRI).

### **Producción de Limón en Piura y Sechura**

Entre 1997 y 2018 la producción anual de Limón en el Perú ha crecido a un ritmo de 1.3%. Siendo en 1997 y el año 2016 los años con mayor producción, 327 000 Toneladas y 270 000 toneladas respectivamente. Los principales países de exportación son Chile, Panamá y otros como EE. UU, Holanda y Bélgica. Además, se cosechó 20 200 ha por año, destacando los años 1998, 2021, y 2013. Las zonas con mayor cosecha fueron Piura y Lambayeque (ANDINA, 2017).

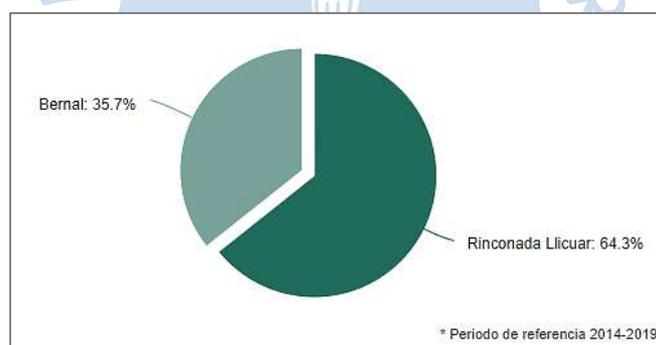
Según SENASA, Piura es la principal productora de Limón en el Perú, con 16904 ha cultivadas (Gobierno Regional de Piura, 2018). Como se puede ver en la Figura 41, Piura representa el 54.8% de la producción a nivel nacional (DGPA-MINAGRI, 2017).



**Figura 41. Principales zonas productoras de limón en Perú**

Fuente: DGPA-MINAGRI (2017).

En la región Piura existen 8 000 productores de limón aproximadamente, destacando Piura y Sullana. Sin embargo, en Sechura también se cosecha Limón, un menor grado de participación, siendo Bernal y Rinconada Licuar los lugares con mayor producción, tal y como se puede ver en la Figura 42.



**Figura 42. Distribución distrital de cosechas de Limón de Sechura (%)**

Fuente: SIEA & MIDAGRI (2021).

Por otro lado, el Fenómeno El Niño también afecta a la cosecha, producción y rendimiento del Limón. Por ejemplo, en el año 1998 a causa de este fenómeno, se registró el rendimiento más bajo, llegando a 9.2 toneladas por hectárea. Además, la producción disminuyó hasta alcanzar las 208,000 toneladas, el cual provocó la pérdida de tierras agrícolas. Así también, los Fenómenos del Niño de 2004-2005 y del 2009-2010 afectaron la producción del Limón, la cual llegó solamente hasta los 202 000 toneladas y 197 000 toneladas respectivamente (ANDINA, 2017). En el año 2017 con el Fenómeno El Niño se produjo 31% menos en volumen que el año anterior en el periodo de enero a junio, debido a las inundaciones que ocurrieron en la zona Norte del país (DGPA-MINAGRI, 2017).

### Análisis del rendimiento de la producción de Limón en Sechura

Como se puede observar en el Figura 43, el año 1997 presenta un mayor valor en rendimiento y producción, siendo el máximo en el periodo 1995-2018. El Limón alcanzó 18900 kg/ha en rendimiento y 210 810 Toneladas en producción de Limón, su variación porcentual en rendimiento fue de 38% con respecto al año anterior. Sin embargo, en el año 1998 el rendimiento y producción disminuyó a un valor de 109 291 Toneladas y 8 500 kg/ha en rendimiento. Cabe resaltar que en el año 1997-1998 se desarrolló el fenómeno El Niño en el Perú. Después, en el año 2000 el rendimiento aumentó a 13 400 kg/ha. Para el año 2007 también se registra un alza en la producción, para luego decaer en rendimiento y producción el año 2009. Para el año 2017 se registra los valores más bajos en rendimiento y producción con 4 127 Kh/ha en rendimiento y 67 129 toneladas en producción. Cabe resaltar que, en el año 2018 la variación porcentual respecto al año anterior, en rendimiento y producción es la mayor en el periodo con 111% y 108% respectivamente.

En síntesis, los años con mayor valores en rendimiento son 1995, 1996, 1997, 2000 y 2007. Los valores más bajos fueron en 1998, 2009 y 2017. El año 2017 y 1998 su variación porcentual en rendimiento según el año anterior fue de 55% aproximadamente. Según ANDINA los Fenómenos El Niño de los años 1997-1998, 2004-2005 y 2009-2010 afectaron a la producción de Limón en el Perú (ANDINA, 2017). Esto se evaluará en el apartado 6.1.2, donde se verá como impacta la variabilidad climática en el rendimiento del Limón.

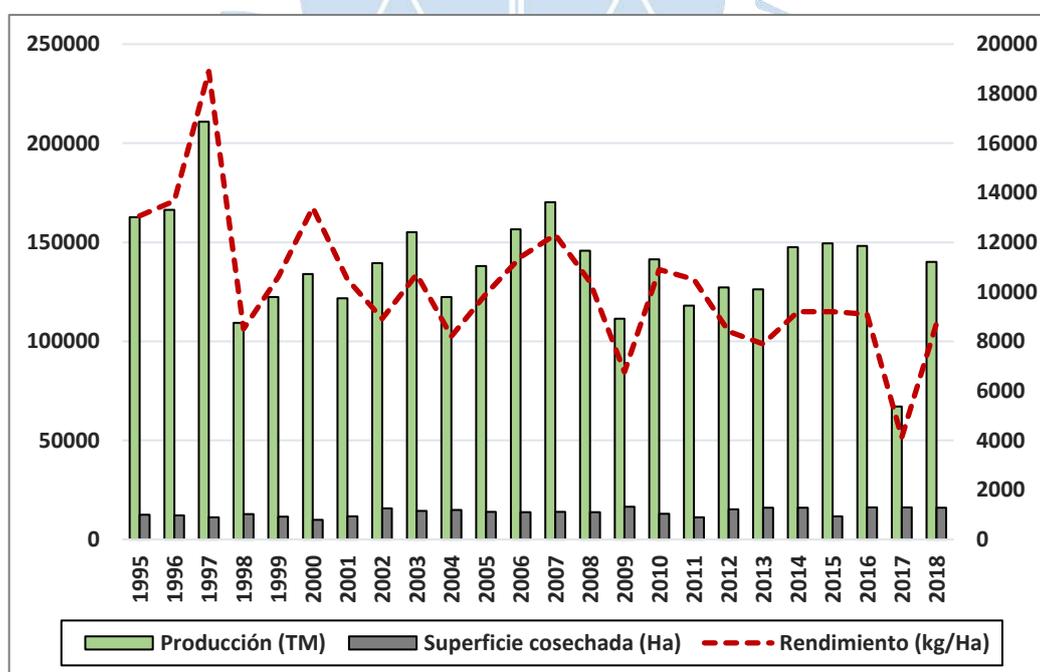


Figura 43. Rendimiento de la producción del Limón (1995-2017)

Fuente: Elaboración propia.

**2.3.1.4 Algodón.** El algodón es una planta que produce la fibra textil más importante del mundo pertenece al género *Gossypium* el que consta de aproximadamente 50 especies En la actualidad solamente 4 especies se cultivan en más de 65 países, *G. herbaceum*, *G. arboreum*, *G. hirsutum* y *G. barbadense*. En Perú se encuentran 3 especies *G. barbadense*, *G. hirsutum* y *G. raimondii* (MINAM, 2017).

El algodón es una especie propia de zonas tropicales y en el Perú se cultiva en la costa y selva, principalmente en los departamentos de Ica, Lima, Piura y Arequipa. La especie predominante es *G. barbadense*. Las variedades que se encuentran son Pima, Tangüis, Del cerro, etc. y su periodo vegetativo es de 140 a 180 días aproximadamente según la variedad (SENAMHI, 2018).

En Perú, la variedad PIMA se siembra en Piura, y con mayor predominancia en el desierto, convirtiéndose a partir de 1922, en la fibra más larga cultivada en el mundo, la más fina y la más resistente. Sin embargo, la variedad Tangüis es la fibra más utilizada localmente dado a su precio y calidad (Banco Wiese Sudameris, 2002).

#### **Condiciones Agroclimáticas**

El cultivo del algodón es típico de las zonas cálidas y es sensible a las temperaturas. La germinación de la semilla se produce cuando se alcanza una temperatura no inferior a 14 °C, siendo el óptimo de germinación de 20 °C. Para la floración se necesita una temperatura media de los 20 a 30 °C. La temperatura óptima para la variedad Pima y para Tangüis es de 25 a 30 °C en la fase de maduración (SENAMHI, 2018). Además, la temperatura influye directamente en el crecimiento del cultivo, cesa su crecimiento con temperaturas por debajo de los 12 °C (Reyes, 2014).

Por otro la luz solar es de gran importancia para el desarrollo del cultivo, sobre todo en la primera fase de su crecimiento. Así también, requiere suelos capaces de retener agua, como, por ejemplo, los suelos arcillosos. En el caso de la precipitación, cuando son intensas, pueden ocasionar la caída de las plantas, una lluvia continua durante la floración<sup>9</sup> reduce la calidad de la fibra. Además, es un cultivo exigente de agua, se debe aplicar durante todo el desarrollo de la planta una dosis de 4500 y 6500 m<sup>3</sup>/ha (SENAMHI, 2018).

#### **Producción de Algodón en Piura y Sechura**

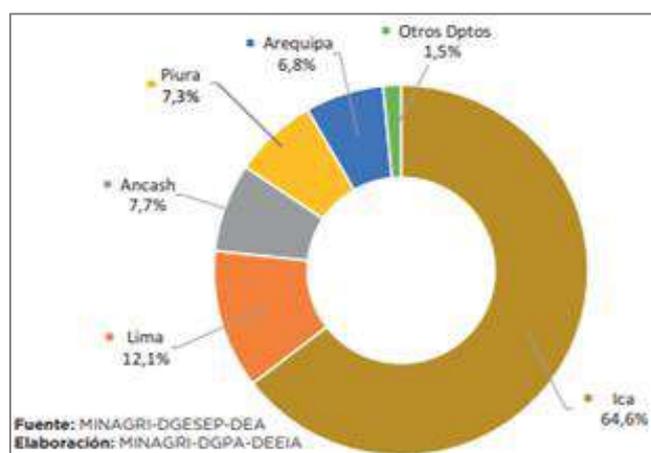
Más de 100 países cultivan algodón, pero los principales países productores de los últimos 5 años son: China, India, Estados Unidos, Pakistán, Brasil y Uzbekistán. Por décadas fue una importante para el Perú, ya que significó una fuente económica generadora de empleo. En Perú, en el año 1963 se obtuvo la mayor área sembrada en el país, la cual fue de 256 800 Has. Las variedades cultivadas fueron es Tangüis en la Costa Central y Pima en el

---

<sup>9</sup> Es una de las fases de crecimiento del cultivo algodón, en esta etapa aparece la primera flor, manteniéndose abierta usualmente un solo día. Se abre en la mañana y después de cambiar de color, se marchita antes del anochecer

Departamento de Piura. En Piura, el récord se obtuvo en 1965 y 1966 con alrededor de 75,000 Has solamente con la variedad Pima (Reyes, 2014).

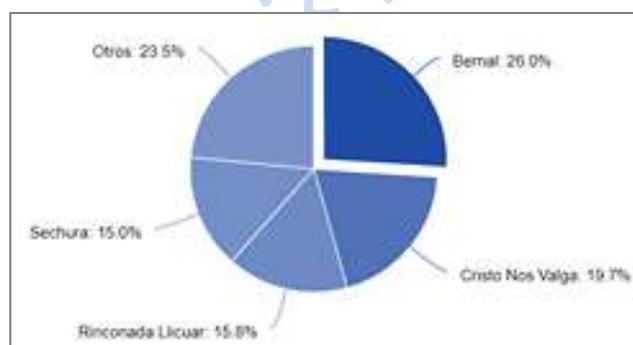
Los principales productores de algodón en Perú son Ica, Lima, Ancash, Piura y Arequipa, según un informe del Minagri del año 2017. Estas 5 regiones concentran el 98.5% de la producción regional. Tal y como se ve en la Figura 44, Piura representa el 7.3% de la producción nacional del año 2017. Además, en este año presentó un rendimiento de 3364 kg/ha aproximadamente.



**Figura 44. Principales departamentos productores de Algodón**

Fuente: SENAMHI (2018).

El algodón Pima piurano es uno de los cultivos más cotizados a nivel mundial, debido a su fibra larga y buena resistencia. Sin embargo, actualmente presenta una etapa difícil, la producción de algodón actualmente solo favorece a un 20% del consumo nacional. En Piura, los distritos con mayor porcentaje de producción es Bernal, y Cristo nos Valga con 20% aproximadamente, del total que produce Sechura.



**Figura 45. Distribución distrital de siembras de Algodón de Sechura (%)**

Fuente: SIEA & MIDAGRI (2021).

En términos de productividad, los rendimientos de algodón varían mucho, dependiendo sobre de las variedades sembradas, del soporte financiero, la calidad de los insumos usados, la disponibilidad de agua de riego, la tecnología disponible para los productores y la adopción de esta tecnología.

El fenómeno El Niño también afecta al cultivo del algodón. Según, los agricultores de Sechura, las lluvias de 1983 fueron las peores y acabaron con la producción del algodón, debido a que se inundaron los campos, las plantaciones de algodón ubicadas en Sechura fueron infestadas por la plaga del gusano rosado y el algodón no logró recuperar su calidad. Adicional a esto, se produjo una caída del precio internacional del algodón en los años posteriores y en la zona norte del Perú, la situación económica de la empresa Textil Piura, uno de los grandes compradores del algodón PIMA, fue decayendo a lo largo de los años, lo cual acentuó a la crisis del algodón en Piura y Sechura. Por ello, se empezó a plantar otros cultivos más rentables como el arroz, que, aunque no se llegue a vender, al menos se puede emplear para consumo propio (Ayala, Ramos, & Timaná, 2022).

### **Análisis del rendimiento de la producción del Algodón en Sechura**

En la Figura 46 se muestra el comportamiento de las variables producción superficie cosechada y rendimiento del algodón. En primera instancia se puede observar que los valores más altos en producción se dan en 1995 y 1996, con 59829 y 90181 TM, y el más bajo en 1998 con 1147 TM con una variación de 97.4%. Para los años post-Niño, se observa un gran aumento de la producción, 3797.8% en el año 1999 y 249.9% en el año 2018, con respecto al año anterior. Así también, se puede notar que después de su bajo valor, se recupera medianamente hasta el año 2007, para luego decrecer, como se puede observar, en la actualidad sus valores de producción son muy bajos a comparación de los 90'.

La superficie cosechada se mueve de igual forma que la producción, con valores altos en los 90' y alcanzando sus valores mínimos en 1998, 2016 y 2017. Estos años coinciden con la ocurrencia del fenómeno el Niño, el cual puede ser un factor importante para su baja producción y superficie cosechada.

Finalmente, el rendimiento del algodón se comporta distinto, parece crecer en los últimos años. Su mayor valor se da en el año 2013, sin embargo, puede deberse a diversos factores externos a lo evaluado en la presente investigación. Por otro lado, su menor valor se da en el año 2012, un año crítico para el algodón peruano, en el cual se pronosticó una baja de precios y a que se presentaban mejores perspectivas de producción en otros países como Brasil, EE. UU e India (Agraria.pe, 2012).

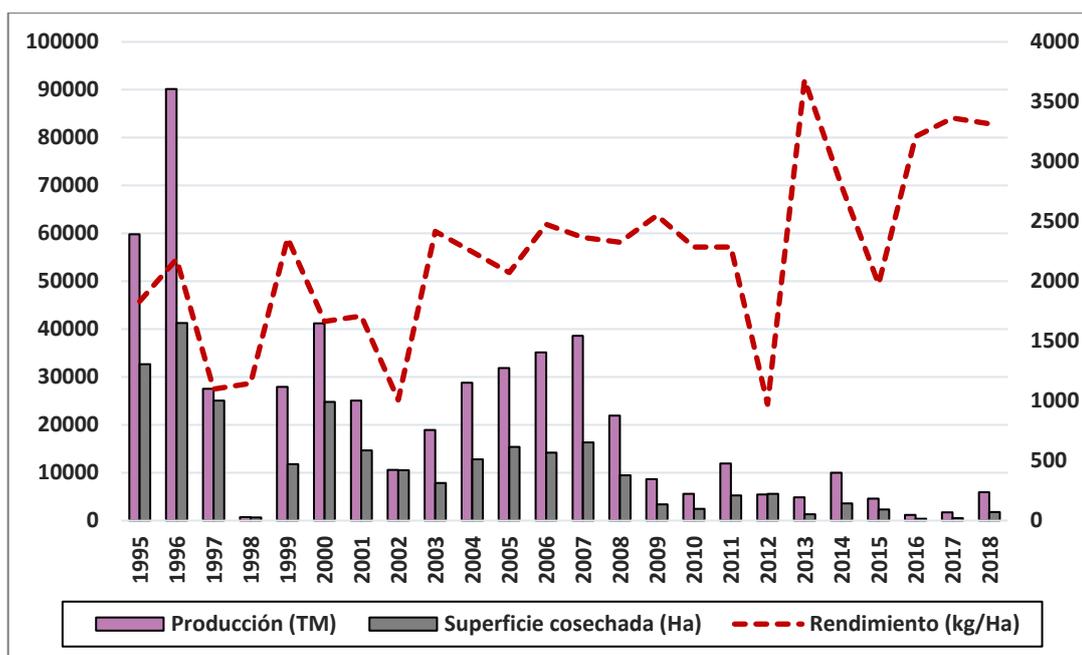
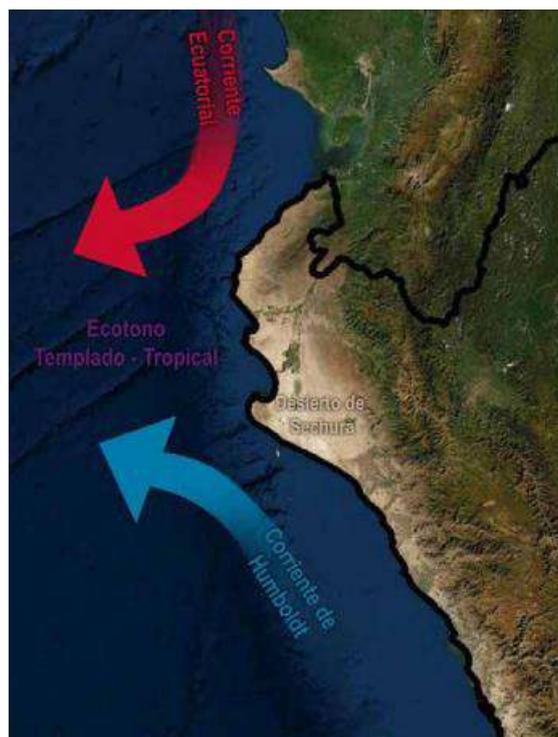


Figura 46. Rendimiento de la producción del Algodón (1995-2017)

Fuente: Elaboración propia.

### 2.3.2 Sector pesquero

El ecosistema marino de la región de Piura presenta una alta variabilidad principalmente por su ubicación, ya que se encuentra cerca de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Esta área es influenciada por los vientos alisios, variable principal en el sistema de la circulación de corriente oceánica y costera. También se ve influenciada por la convergencia de corrientes superficiales de aguas frías del sur denominada Corriente de Humboldt y Corriente cálida del norte ecuatorial llamada El Niño (CITE pesquero Piura, 2019).



**Figura 47. Ubicación del desierto de Sechura y las corrientes marinas frente al norte del Perú**

Fuente: MINAM - PNUD (2021).

La alta productividad pesquera de la región se debe a las masas de aguas frías que aportan nutrientes; esto a su vez, se ve favorecido por periodos largos de luz solar para la fotosíntesis, factor positivo que influye en la biodiversidad y abundancia de los recursos hidrobiológicos en las zonas de pesca como Paita y la bahía de Sechura. Estas condiciones cambian durante eventos anómalos recurrentes como el Fenómeno El Niño, que origina anomalías positivas por el incremento en 1 °C a más 8°C de la TSM del promedio histórico del mar; y el Fenómeno La Niña, que genera anomalías negativas por la disminución en 1° C a más 7°C de la temperatura promedio histórico del mar, ya que cada recurso marino posee un rango óptimo para vivir, y si percibe condiciones climáticas desfavorables, migra a otras zonas (CITE pesquero Piura, 2019).

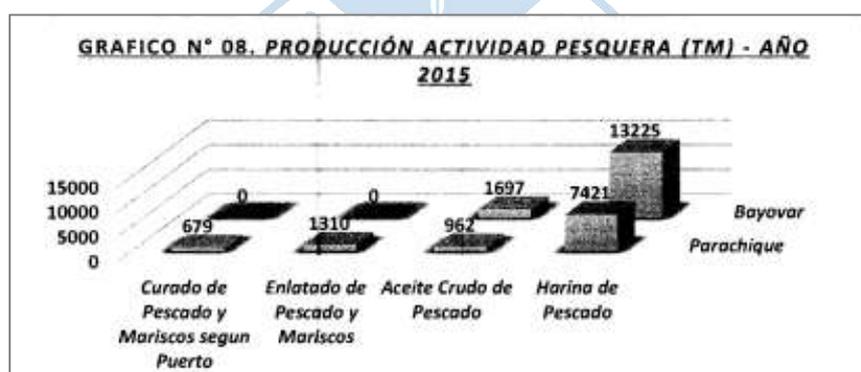
En la provincia de Sechura, la pesca es una de las principales actividades productivas. La bahía de Sechura tiene a Bayóvar como su puerto principal, debido a que su topografía submarina cuenta con un calado de 50 pies, un terreno natural favorable, que facilita la operación de embarcaciones de hasta 250 mil toneladas. Esto brinda condiciones geográficas para la construcción de muelles especializados para el atraque de barcos de gran calado y reúne junto a su bahía natural, un adecuado sistema de vientos y accesibilidad a centros poblados (Municipalidad Provincial de Sechura, 2018).

La estructura del sector pesquero peruano se divide en tres grandes grupos: pesca industrial, pesca artesanal y acuicultura.

El Ministerio de la Producción y el sector privado clasifican la industria pesquera en Consumo Humano Directo (CHD), donde recurso hidrobiológico extraído se encuentra destinado al consumo humano de forma directa, como fresco, enlatado, congelado, curado o a través de otra presentación; y Consumo Humano Indirecto (CHI), donde el recurso hidrobiológico extraído se destina a la elaboración de harina y aceite de pescado (CITE pesquero Piura, 2019).

Los principales puertos y caletas con desembarcaderos pesqueros artesanales en la provincia de Sechura son los de Mataballo, Puerto Rico, Bayóvar, Parachique y Las Delicias. Existen aproximadamente 15.000 pescadores artesanales y 3.600 embarcaciones artesanales que se dedican a la extracción de especies del mar para el comercio de pescado fresco. Según la Oficina de Pesca – MSP 2016, Sechura y Vice son los distritos donde predomina la actividad pesquera, siendo Vice el distrito con la mayor flota pesquera de la provincia. En los últimos años, debido a factores como la depredación de los recursos marítimos, el cambio climático, explotación de petróleo, se ha perdido participación en esta actividad económica, lo que ha llevado a continuas vedas en la pesca de productos hidrobiológicos (Municipalidad Provincial de Sechura, 2018).

También existen empresas relacionadas con la elaboración de diferentes productos pesqueros, siendo la principal actividad en el 2015, la producción de harina de pescado. Otras actividades relacionadas con la pesca incluyen la producción de aceite crudo de pescado y el enlatado de pescado y mariscos que representó el 2.65% y 2.62% de la producción nacional el año 2015 (Municipalidad Provincial de Sechura, 2018).



**Figura 48. Producción actividad pesquera (TM) - 2015**

Fuente: Municipalidad Provincial de Sechura (2018).

La bahía de Sechura se extiende por unos 100 km., del litoral entre Punto Gobernador al Norte y la Punta Aguja al Sur; comprende la mayor parte del territorio de los distritos de

Sechura, Vice. La Bahía de Sechura es una de las más productivas y biodiversas del país. Según IMARPE (2006), reporta como riqueza específica 23 especies como la anchoveta, la pota, el calamar gigante, la sardina, etc (Municipalidad Provincial de Sechura, 2018).

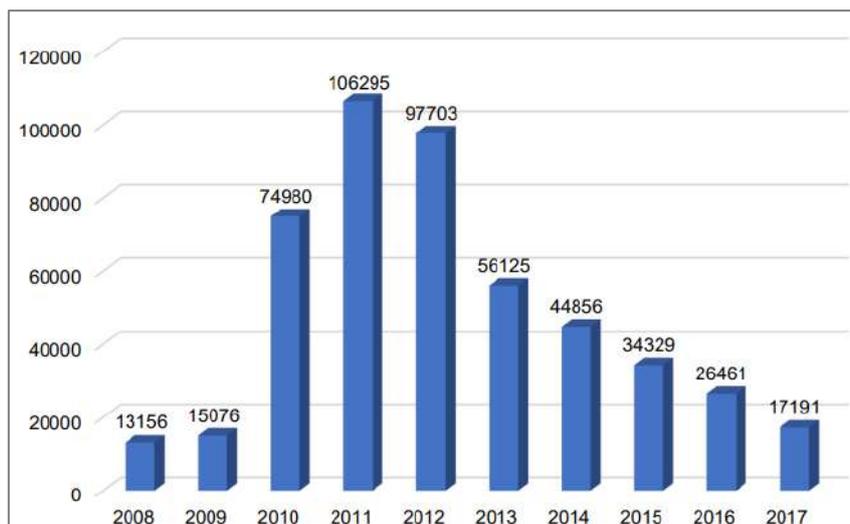
En la **Tabla 6** se presentan los desembarques de recursos marítimos en la bahía de Sechura entre los años 2008 al 2017.

**Tabla 6. Desembarque de recursos marítimos en toneladas métricas (TM) en la bahía de Sechura**

Año	Consumo Humano Directo (CHD)	Consumo Humano Indirecto (CHI)		Desembarque total (CHD+CHI)
	Sechura	Parachique	Bayóvar	
2008	13156	138925	169213	321294
2009	15076	78269	181286	274631
2010	74980	14003	92771	181754
2011	106295	93061	202682	402038
2012	97703	33570	114866	246139
2013	56125	25568	-	81693
2014	44856	37900	-	82756
2015	34329	391	88733	123453
2016	26461	99	86588	113148
2017	17191	125	144059	161375

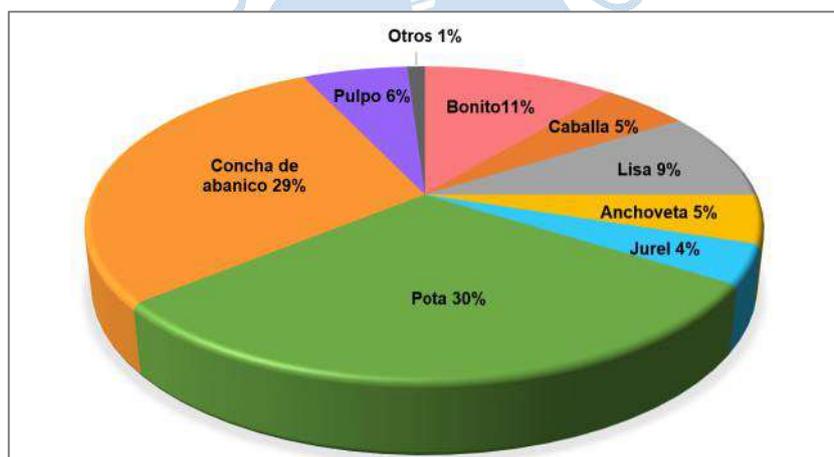
Nota: Adaptado de CITE pesquero Piura (2019).

En el Figura 49 se observa una disminución significativa en los desembarques de CHD desde el 2013 hasta el 2017, una de las posibles causas es que se presentaron condiciones climáticas desfavorables para especies destinadas al consumo directo tales como pota, concha de abanico, bonito, caballa, lisa, entre otras. En la Figura 50 se puede ver las proporciones de las principales especies desembarcadas y de otras especies como anguila, chiri, peje blanco, cabinza, suco, calamar, cabrilla, tollo, cachema, merluza, bereche, lorna, pejerrey, etc (CITE pesquero Piura, 2019).



**Figura 49. Desembarque de recursos marítimos para CHD en Sechura (TM)**

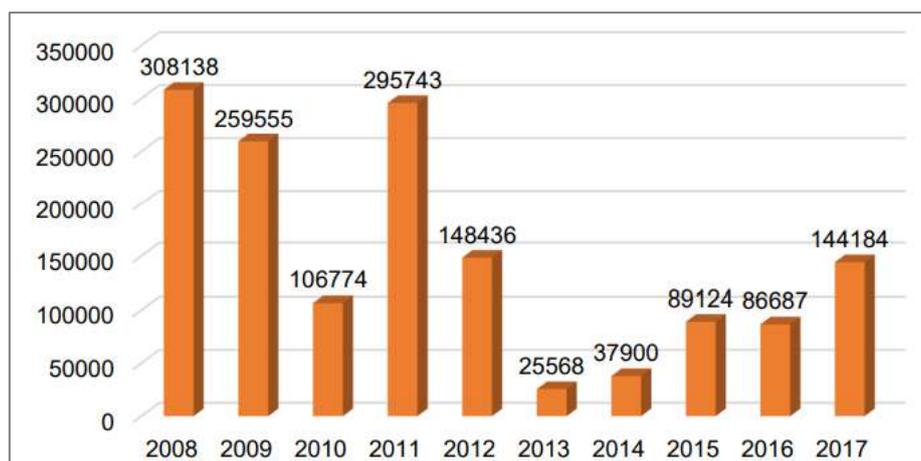
Fuente: CITE pesquero Piura (2019).



**Figura 50. Principales especies desembarcadas para CHD en la bahía de Sechura. Periodo 2008-2017**

Fuente: CITE pesquero Piura (2019).

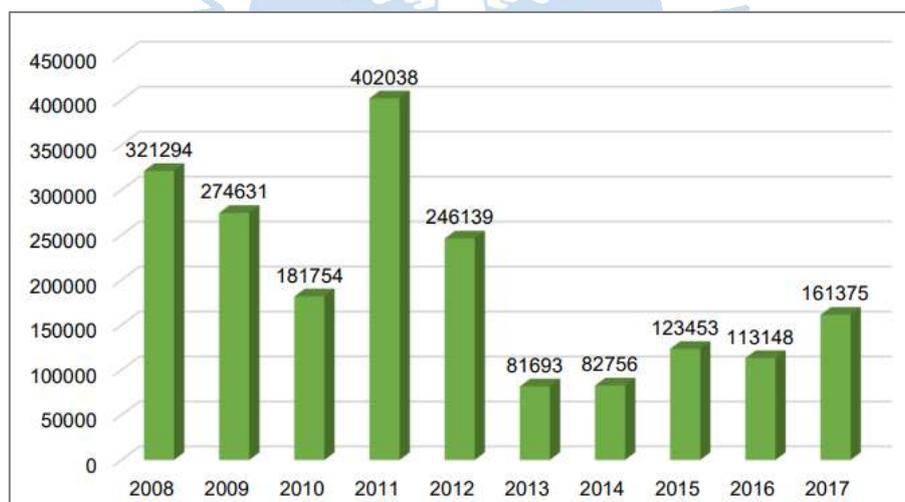
En el Figura 51 se observa una variación significativa de los desembarques de CHI. Cabe destacar que una de las principales especies destinadas al CHI es la anchoqueta, en dicho contexto es muy probable que estos volúmenes tienen relación con las condiciones climáticas de la zona y las temporadas de pesca decretadas por el gobierno (CITE pesquero Piura, 2019).



**Figura 51. Desembarque de recursos marítimos para Consumo Humano Indirecto (CHI) en Sechura (TM)**

Fuente: CITE pesquero Piura (2019)

En términos generales los desembarques totales de recursos marítimos tienen una variación que está influenciada por las condiciones climáticas de cada especie como se ve en la Figura 52.



**Figura 52. Desembarque total de recursos marítimos en Sechura (TM)**

Fuente: Anuario estadístico pesquero y acuícola (2017).

### **2.3.3 Otras actividades económicas**

**2.3.3.1 Minería.** Piura presenta varios yacimientos mineros entre los que destacan los de Bayóvar, ubicada en la provincia de Sechura. Contienen diversos minerales como los fosfatos, diatomitas, salmueras entre otros (ver Figura 53) (BCRP, 2008).

RESERVAS DE LOS YACIMIENTOS DE BAYÓVAR			
Mineral	Área (Has.)	Reservas * (Millones TM)	Uso principal
Fosfatos	74 059	238,0	Fertilizantes
Diatomitas	6 891	45,0	Cemento
Calcáreos	22 326	42,0	Cemento
Yeso	12 575	7,3	Yeso
Salmueras	82 195	6,3	Fertilizantes

\* Expresadas en contenidos concentrados.  
Fuente: Compañía Vale Rio Doce.  
Elaboración: BCR.

**Figura 53. Reservas de yacimientos de Bayóvar**

Fuente: Banco Central de Reserva del Perú (2008).

Bayóvar es considerado como uno de los tres yacimientos con mayor volumen de fosfato en el mundo, junto a marruecos y Florida. Empresas como Miski Mayo, Cementos Pacasmayo y Juan Paulo Quay (de Grupo Romero) aprovechan el potencial minero de Bayóvar (BCRP, 2008). Esto se puede ver en la Figura 54 donde se presenta como se ha comportado la producción minera de no minerales en Sechura, con sus distintas empresas que la conforman entre los años 2011 al 2016. Cabe resaltar, que en el Perú la empresa Miski Mayo en Sechura continúa siendo el mayor productor de fosfatos, con un nivel el 99.8% de producción nacional y Piura se ubica como la única región en producir este mineral, abarcando el 100% de la producción nacional (Ministerio de Energía y Minas, 2020).

Empresa/Producto	Unidad minera	Años					
		2011	2012	2013	2014	2015	2016
Fosfatos del pacífico S.A./Diatomita	Bayóvar N°9	40000	73347	80450	80124	80036	80050
Compañía Minera Miski Mayo S.R.L./Fosfatos	Bayóvar N°2	8889295	10345925	14842307	10854269	11146076	10548737
Juan Paulo Quay S.A.C./Yeso	Bayóvar N°12	188408	58539	27419	129013	136166	31324
Rojas Luque Eusebio Mario/Fosfatos	ARCOIRIS 1	0	8005	10070	16017	15560	10974
Cemento Pacasmayo S.A.A./Conchuelas	Bayóvar N°4	0	0	0	26686	43863	44712
Cemento Pacasmayo S.A.A./Conchuelas	Virrúa	0	0	0	0	0	132858
Cemento Pacasmayo S.A.A./Conchuelas	Virrúa 10	0	0	0	0	348159	1078632

**Figura 54. Producción minera por empresa en Sechura (2011-2016) en toneladas métricas**

Fuente: INEI (2017).

**2.3.3.2 Turismo.** La provincia de Sechura cuenta con diversas riquezas turísticas de contenido histórico, cultural y social, tradiciones y paisajes. Su capital natural, se sustenta en la presencia de un gran potencial para el turismo, siendo un atractivo para el propio y el foráneo (Municipalidad Provincial de Sechura, 2018).

Entre los atractivos turísticos está Templo San Martín de Tours, joya Arquitectónica de la época colonial, y el Museo Etnológico, el cual exhibe piezas de la cultura Chusis e Illescas (Diario El Regional Piura, 2019). Cada uno de los distritos cuenta con iglesias de la época colonial, así como restos arqueológicos importantes, pero que se encuentran en abandono (Municipalidad Provincial de Sechura, 2010). También está el Complejo Arqueológico de Chusis, donde se encuentra la Tumba del Señor de Chusis, arquitectura ceremonial, arquitectura doméstica, cerámica, etc (Municipalidad Provincial de Sechura, 2018).

Su capital natural se sustenta en la presencia de los Manglares de San Pedro, el Desierto de Sechura, el Estuario de Virrilla, el oasis Yerba Blanca, el yacimiento de sal Salinas de Ramón, las Lagunas de Ramón y Ñapique, el Circuito Illescas y sus playas (Municipalidad Provincial de Sechura, 2010). En el médano blanco los turistas llegan para practicar *sandboard*, en la playa de Chulliyachi se puede encontrar a delfines, y en los manglares se puede observar la flora y fauna, y practicar canotaje (Diario El Regional Piura, 2019). Existen otros lugares de gran riqueza natural que son considerados zonas vírgenes y que solo los conocen los lugareños y algunos cuantos conocedores (Municipalidad Provincial de Sechura, 2010).





## Capítulo 3

### Análisis y resultados a partir de Registros históricos del FEN

Los registros históricos entregan valiosa información sobre diversos fenómenos meteorológicos, con la cual permiten elaborar registros temporales más completos e integrados de dichos eventos. Para la reconstrucción climática del FEN en la Perú, se analizarán documentos históricos y arqueológicos que evidencian la ocurrencia de estos eventos en el pasado, así como publicaciones actuales sobre los nuevos conocimientos del FEN.

#### 3.1 Caracterización de las fuentes históricas

Según su fuente, los registros históricos trabajados en la presente investigación se dividirán en las siguientes categorías: Documentación histórica, la cual hace referencia a toda fuente escrita previa al uso de instrumentos de medición del clima; documentación histórica-instrumental, la cual hace referencia a toda fuente escrita desde la instrumentación temprana hasta la actualidad; y la Documentación prehistórica-arqueológica, la cual abarca las fuentes escritas que presenten evidencias arqueológicas y culturales.

##### 3.1.1 Documentación histórica

Teniendo en cuenta que las primeras observaciones instrumentales del ENSO comienzan en la última mitad del siglo XIX, la información registrada para caracterizar adecuadamente todas las escalas de tiempo involucradas en su variabilidad es demasiado corta. Por esta razón, se han desarrollado numerosos registros indirectos de ENSO en las últimas décadas (García-Herrera, y otros, 2008). Para ello, ha sido necesario aplicar estudios de disciplinas como la Climatología histórica, que involucra el estudio de documentos históricos.

Los archivos históricos empleados para el estudio de El Niño son una fuente de información que aún no ha sido tan ampliamente difundida ni utilizada como podría serlo, probablemente por la escasez de trabajo interdisciplinario entre científicos físicos y sociales, y la suposición de que los datos que pueden obtenerse de documentos históricos solo serían anecdóticos o puntuales (Martínez, 2016). A pesar de ello, a partir del análisis de archivos históricos se han podido establecer registros históricos que informan sobre lluvias inusuales u otras condiciones perturbadoras en el Perú que podrían estar relacionadas al Fenómeno El

Niño, logrando alcanzar una retrospectiva desde el siglo XVI, con la llegada de los europeos y de la escritura (Macharé & Ortlieb, 1993).

La naturaleza de la resolución de estos registros suele ser diaria, pero discontinuos y anecdóticos (Macharé & Ortlieb, 1993). Específicamente, las cronologías documentales del FEN son escasas y están sujetas a cierto grado de ambigüedad (García-Herrera, y otros, 2008). Por ello, en algunos casos los archivos históricos disponibles no permiten determinar con buena probabilidad la ocurrencia de un evento El Niño ya que se tiene información aislada sobre una lluvia fuerte o crecidas de ríos en cierta región del país. En casos así, se requieren datos adicionales antes de poder afirmar que estas anomalías corresponden a un evento El Niño. Además, la determinación de la intensidad de los eventos pasados presenta ciertas dificultades por la información parcial y geográficamente limitada que se tiene (Hocquenghem & Ortlieb, 1992).

### **3.1.2 Documentación histórica-instrumental**

Desde el siglo XVI se habla de observaciones meteorológicas, por ejemplo, se dice en el libro de “Estudios de Historia Medioambiental” de Lizardo Seiner Lizárraga (2002), que en el periodo de 1753 al 1918 se realizaron mediciones de temperatura, presión atmosférica, humedad del aire, dirección del viento y su velocidad en la ciudad de Lima (Rocha).

En el año 1779, Hipólito Unánue y Paz Soldán, médico peruano, realiza un estudio de las temperaturas, estado del tiempo y temblores de Lima, que fue publicado en un artículo que relaciona observaciones del clima con el hombre. Su trabajo fue comentado por el “Memorial Literario” de Madrid en 1808. Por tal motivo se le conoce como el padre de la meteorología. Posteriormente, en 1890 se proyecta la instalación de una estación meteorológica con el nombre de “Observatorio meteorológico Hipólito Unánue”, la misma que se instala en el año 1892 (PUCP, s.f.).

Las observaciones meteorológicas fueron tomando mayor interés a partir del fenómeno de intensas lluvias en los años 1925 y 1926. Es así como, en estos años fueron publicados diversos trabajos que relataban impactos y datos meteorológicos y oceanográficos. El 09 de febrero de 1925 se publica en el diario limeño una carta enviada por el Dr. J.S Paraskevopoulos, director del observatorio astronómico ubicado en Arequipa, en la que plantea la necesidad de implementar un sistema de estaciones meteorológicas en el Perú (Chang, 2014). Así también, en 1926 fueron publicadas en el diario limeño, artículo dirigido a las autoridades, en donde exponían la necesidad de instalar estaciones meteorológicas en el Perú (Chang, 2014) . El diario limeño recibió muchas cartas de apoyo de Ingenieros agrónomos, civiles entre otros profesionales, además de artículos publicados en “El Comercio”, donde se informaba de la importancia de instalar estaciones meteorológicas y de realizar mediciones de la temperatura del mar (Chang, 2014). Por otro lado, “El Comercio” recogía información de diarios locales sobre El Niño 1925-1926 y publicó más de 2500 notas

sobre los impactos del evento. Dichos datos han sido utilizados para completar y validar información meteorológica y oceanográfica (Martínez, 2016).

En 1947 se crea Departamento de Meteorología en la Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (CORPAC). Dos años después, se crea la Dirección General de Meteorología del Perú. Luego, en el año 1952 la Compañía Administradora del Guano, crea una red de diez estaciones meteorológicas ubicadas en islas y puntas marinas (PUCP, s.f.).

El año 1960 que se funda el Servicio de Agrometeorología (SAH) con la finalidad de establecer en el país, una red de estaciones meteorológicas e hidrológicas y de un Laboratorio Nacional de Hidráulica, bajo el asesoramiento de una misión de expertos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (PUCP, s.f.).

Finalmente, el año 1969 se crea el Servicio Nacional de Meteorología y Climatología (SENAMHI), encomendado a la ejecución y coordinación de actividades meteorológicas e hidrológicas (PUCP, s.f.). Actualmente SENAMHI cuenta con una red de aproximadamente 900 estaciones entre meteorológicas e hidrológicas a nivel nacional (GEOIDEP, s.f.).

Hoy en día los investigadores disponen del auxilio de complejos y sofisticados instrumentos y aparatos de medición, lo que permite una mejor comprensión de las dimensiones del evento tanto a escala nacional como global. Así también, como se mencionó en el apartado 1.3, el SENAMHI ha profundizado el estudio del FEN a lo largo del tiempo. Por ello, actualmente se puede hablar de 2 tipo de FEN, los cuales afectan al Perú y sobre todo a la Costa Peruana.

### **3.1.3 Documentación prehistórica-arqueológica**

Según las investigaciones realizadas por el geólogo Donald T. Rodbell al sur de Ecuador, la presencia de El Niño en la costa oeste data de hace unos 15 mil años (Diario El Comercio, 2017).

Los registros arqueológicos obtenidos de los datos de las excavaciones u observaciones arqueológicas también han registrado eventos El Niño en el pasado. La prehistoria en el Perú se extiende desde inicios del Holoceno<sup>10</sup>, siendo el rango de utilidades de estos datos hasta de 10,000 años atrás (Macharé & Ortlieb, 1993).

La continuidad de los archivos arqueológicos está limitada por la continuidad de ocupación de sitios arqueológicos que, a la escala del milenio, es reducida (Macharé & Ortlieb, 1993). La precisión cronológica requerida para fechar un evento geomorfológico no depende solamente de la validez del fechado radiocarbónico, sino de su ubicación dentro de contextos,

---

<sup>10</sup> El Holoceno es el periodo geológico más reciente donde se observan condiciones bastante estables en el clima global después de la ocurrencia del Último Periodo Glacial y corresponde a aproximadamente los últimos 10000 años de la historia de la Tierra. Es en este periodo geológico donde se conforman las condiciones globales actuales. [http://met.igp.gob.pe/publicaciones/Divulgacion\\_PPR\\_El\\_Nino\\_IGP\\_201602.pdf](http://met.igp.gob.pe/publicaciones/Divulgacion_PPR_El_Nino_IGP_201602.pdf)

lo cual obliga a determinar en lo posible la relación temporal entre el evento geomorfológico y referencias culturales como estilos artísticos, industriales o arquitectónicos, hábitos alimenticios, etc. Requiere, por lo tanto, una precisión difícilmente alcanzable, sea por medios arqueológicos, sea por la datación  $C^{14}$ . Esta última, en todo caso, debería confirmar y sustentar hipótesis elaboradas en base a los datos arqueológicos. En este sentido las evidencias arqueológicas proporcionan una especie de *case studies* que ubican el impacto geomorfológico relacionándolo con situaciones específicas con anterioridad o posterioridad al suceso. Es necesario realizar una correlación entre las evidencias arqueológicas y paleoclimáticas, la cual parece ser indirecta en el sentido que supuestos cambios ambientales y/o climáticos anteceden a la ocupación o son posteriores (Kaulicke, 1990).

Debido a esto, los datos arqueológicos parecen ser útiles para documentar eventos muy fuertes del Fenómeno El Niño, ya que pueden haber producido notables cambios geomorfológicos y/o ambientales cuyo impacto afectó en alto grado el normal desarrollo de la sociedad de la región tratada (Macharé & Ortlieb, 1993).

### **3.2 Historia y evolución del conocimiento del FEN**

El inicio de los estudios científicos sobre el origen de las grandes y esporádicas lluvias en la costa norte se vincula a la fundación de la Sociedad Geográfica de Lima en 1888, siendo algunos de sus primeros miembros Luis Carranza Ayarza (presidente y fundador), Camilo N. Carrillo, Antonio Raimondi, entre otras destacadas figuras de la época. La Sociedad Geográfica publicó en sus boletines importantes artículos sobre las lluvias de 1891 con diversas explicaciones sobre su origen, vinculándolo a las corrientes marinas, específicamente a su cambio de temperatura (Rocha, 2014).

El primer reporte científico de un evento El Niño fue realizado por el médico ayacuchano Luis Carranza en 1891, el cual aparece en el boletín de la Sociedad Geográfica (Martínez & Takahashi, 2017). Carranza describió la contracorriente cálida que se había presentado ese mismo año y fue el primero en señalar la vinculación entre el aumento de la temperatura del mar y las lluvias (Rocha, 2014). Fue recién al año siguiente y en el mismo boletín, que el término “Corriente del Niño” aparece por primera vez en la literatura mediante el trabajo del capitán peruano Camilo Carrillo (1892). Ahí menciona que la existencia de esta corriente era bien conocida por los pescadores norteños quienes la denominaban así desde hacía muchos años porque se presentaba todos los años después de Navidad, pero normalmente en forma muy débil, siendo los eventos que resultaban en lluvias sustanciales más inusuales (Takahashi K. , 2014).

Entre los artículos importantes publicado en los Boletines de la Sociedad Geográfica, está el del geógrafo peruano Eguiguren (1894). En ese artículo, se presentó la primera cronología del FEN basada en la ocurrencia de grandes precipitaciones registradas en Piura (Rocha, 2014). Eguiguren analizó reportes sobre la ocurrencia de lluvias en el norte del Perú en un periodo de casi de 100 años (1791-1890) y proporcionó un índice de intensidad a estos

eventos. El trabajo de Eguiguren incluyó una variedad de fuentes primarias y secundarias, como relatos de testigos de la conquista del Perú, historias y geografías del Nuevo Mundo escritas por colonos y eruditos españoles, y descripciones contemporáneas de las áreas costeras del norte de Perú. El índice de intensidad que dio a los eventos ocurridos fue subjetivo; se basó en la severidad y persistencia percibida de las lluvias en esos años mencionados en las fuentes a su disposición. Cabe mencionar que el trabajo de Eguiguren es considerado un artículo pionero que anticipó una serie de ideas y métodos importantes desarrollados muchos años después. Aparte de su intento de clasificar las precipitaciones, Eguiguren también sugirió una conexión entre las lluvias y la cálida corriente de El Niño, basándose además en lo escrito por Carrillo (García-Herrera, y otros, 2008).

En los años de 1925-26 sucedió otro evento El Niño de envergadura, lo cual llevó a que se realicen nuevos trabajos relatando los impactos e incluyendo datos meteorológicos y oceanográficos, fueron publicados en los años inmediatamente posteriores, siendo algunos de estos trabajos los realizados por Murphy en 1926, Zegarra en 1927 y Zorrell en 1929 (Martínez, 2016).

Las cronologías del FEN más referenciadas de esta naturaleza son las publicadas por William H. Quinn y sus colegas (García-Herrera, y otros, 2008). El trabajo más conocido fue aquel compilado por Quinn et al. (1987) y conocido como el registro QNA por sus autores Quinn, Neal y Antúnez de Mayolo, en el cual los autores proponen una cronología clásica de los eventos de El Niño basándose principalmente en indicios de fenómenos meteorológicos e hidrológicos anómalos observados en Perú y áreas vecinas, según lo descrito por varios autores y fuentes anónimas (Macharé & Ortlieb, 1993). Para ello, emplearon documentos tan variados como crónicas de viajeros, eclesiásticos y militares, así como posteriores reportes de exploradores, naturalistas y funcionarios coloniales entre otros, con la finalidad de construir una cronología cualitativa de los eventos El Niño desde el siglo XVI, basada en los impactos identificados en las fuentes consultadas. Proporciona la fecha de ocurrencia, un índice de intensidad (clasificándolos en moderados, fuertes y muy fuertes, siendo los eventos débiles no fueron considerados) y un índice de confianza (Martínez, 2016).

Las cronologías de Quinn están asociadas con eventos climáticos inusuales en la región de América del Sur según dos tipos de indicadores: el primero incluye la ocurrencia de inundaciones, sequías, pérdidas de cultivos, plagas, migración de pesquerías, etc., en el norte de Perú, y por lo tanto es un indicador local de FEN; el segundo incluye información de otras áreas de América del Sur, como el sur de Perú, Bolivia y Brasil, donde el impacto de ENSO es a través de las teleconexiones, y puede ser débil o incluso controversial en algunos casos. Debido a que en ambos casos los indicadores se recopilaron a partir de fuentes documentales secundarias (documentos no escritos por testigos directos), existe cierto grado de ambigüedad en los resultados (García-Herrera, y otros, 2008).

El trabajo de Hamilton y García (1986) amplía el trabajo de Quinn et al. (1978) al presentar información más completa de las fuentes históricas relacionadas con la lluvia peruana y su cronología de eventos FEN abarca desde 1531, con la llegada de los europeos a Perú, hasta 1841, cuando los datos barométricos convencionales estuvieron disponibles en las regiones tropicales (Hamilton & Garcia, 1986). Los autores identificaron varias posibilidades adicionales para eventos FEN fuertes a través de informes anecdóticos de lluvia significativa en el desierto costero del norte del Perú, y además mostraron que, en muchos casos, estos eventos también parecían estar registrados en patrones de teleconexión en ubicaciones remotas del hemisferio norte (Garcia-Herrera, y otros, 2008).

A pesar de que el trabajo de Quinn et al. (1987) ha sido tomado como la principal referencia para las calibraciones proxy y para la mayoría de los estudios sobre la variabilidad climática relacionados con ocurrencias históricas de ENSO, fue revisado críticamente por los investigadores franceses Luc Ortlieb y Anne- Marie Hocquenghem en sus trabajos de 1991, 1992a y 1992b. Los autores precisaron que muchas de las supuestas ocurrencias no estaban muy sólidamente sustentadas y merecían su eliminación del registro, y por otro lado agregaron algunos eventos (Macharé & Ortlieb, 1993). Posteriormente, Ortlieb (2000) revisó una composición del trabajo de Quinn, incluido Quinn et al. (1987), Quinn y Neal (1983, 1992) y Quinn (1992), principalmente reinterpretó las fuentes sudamericanas utilizadas por Quinn y reevaluó la confiabilidad de los informes, la intensidad de los eventos y la calidad de los datos y su importancia. Ortlieb detectó algunas fuentes importantes de incertidumbre en el trabajo de Quinn, por ejemplo, algunos eventos habían sido reconstruidos solo a partir de inundaciones en el río Rímac en Lima, los cuales no están asociados de manera confiable con eventos FEN, por otro lado, también se habían asociado anomalías de precipitación en el sur de Perú con el FEN, aunque con los datos modernos se ha podido ver que están más estrechamente relacionadas con los eventos de La Niña. En su totalidad, Ortlieb clasificó 42 de los eventos FEN de Quinn como dudosos y sugirió que 25 de estos deberían eliminarse de la cronología; además agregó siete eventos FEN no reportados por Quinn. La cronología de Ortlieb se puede considerar un subconjunto de la de Quinn. Como estas reconstrucciones se compilaban principalmente a partir de fuentes documentales secundarias, la datación de los eventos FEN puede ser imprecisa (Garcia-Herrera, y otros, 2008).

Historiadores contemporáneos peruanos como Lizardo Seiner (2001, 2002, 2004) y Lorenzo Huertas (2001, 2009) han trabajado con fuentes documentales tanto sobre los eventos El Niño, como sobre otros fenómenos geofísicos de importancia, dando nuevas luces sobre el desarrollo e impactos de estos eventos, pero también sacando a la luz bases de datos históricas no utilizadas antes (Martínez, 2016). En su trabajo del 2001, Lizardo Seiner realiza una reflexión del FEN en el pasado, entre la conquista española y el presente, basándose en fuentes históricas, y también expone sobre reconstrucciones cronológicas del FEN de diversos autores. El mismo autor incluso comenta sobre el estudio dedicado por Lorenzo Huertas (1993) a las manifestaciones del FEN en el tiempo y sus contribuciones con información

documental inédita y otros aportes como el análisis que hizo a las cronologías James Vreeland (1985), QNA (1987) y William Quinn (1993) en las cuales solo halló un 20% de coincidencia en los eventos identificados. En base a ello, Lizardo Seiner comentó que a pesar de la difusión que alcanzaron dichos trabajos, en especial el de QNA, algunos aportes aparecidos en los años siguientes evidenciaron las limitaciones metodológicas de aquellos; posteriormente amplifica el estudio con los aportes de Ortlieb y Hocquenghem, quienes reforzaron la cronología de QNA a partir de la evaluación de las fuentes consultadas, y realiza más contribuciones (Seiner, 2001).

Otros trabajos de investigación que destacan son los estudios de García-Herrera et al. (2008) y de Aceituno et al. (2009) (Martínez, 2016). En el primero, los autores presentan una cronología de los eventos de El Niño durante el período 1550-1900 basados en registros documentales del norte de Perú principalmente a partir de fuentes primarias de la ciudad de Trujillo (Perú), el Archivo General de Indias en Sevilla (España) y el Archivo General de la Nación en Lima (Perú), tomando en cuenta las abundantes lluvias e inundaciones en la ciudad, junto con informes de fallas de la pesquería local, como principales indicadores de ocurrencia de El Niño. Esta cronología se compara con las dos principales cronologías El Niño (Quinn, 1992; Ortlieb, 2000) y con indicadores ENSO derivados de datos proxy distintos de fuentes documentales, logrando identificar un total de 59 eventos (García-Herrera, y otros, 2008). En el segundo, los autores examinaron en profundidad el evento El Niño de 1877-78, el cual tuvo repercusiones mundiales con intensas sequías en Asia y África, ocasionando millones de muertos, y también en Sudamérica; por ello analizaron datos meteorológicos y fuentes documentales con información sobre impactos de casi todo el subcontinente (Martínez, 2016).

Las descripciones sobre eventos El Niño han mejorado su calidad y cantidad con el pasar de los años, y se ha podido incluir en ellos estadísticas de ministerios e instituciones, reportes de pérdidas económicas, descripciones sobre mortandad de aves y peces, etc (Martínez, 2016).

### **3.3 Evidencia de la relación del El Niño y la Oscilación Sur**

Por muchos años, El Niño (a lo largo de las costas norte del Perú y sur del Ecuador) y la Oscilación Sur (en el Pacífico ecuatorial) fueron considerados como fenómenos independientes. Fue en 1960 que se descubrió que eran manifestaciones de un mismo fenómeno, y a partir de ahí se le denominó El Niño-Oscilación Sur (ENOS). En la Tabla 7 se muestra un resumen de la evolución de cada una de las manifestaciones y sus denominaciones antes de que estas fueran fusionadas.

Tabla 7. Evolución del conocimiento de El Niño y la Oscilación Sur

Evento	Categoría	Notas
Primeras décadas de los 1800	El Niño (FEN)	El interés sobre el FEN se remonta a las primeras décadas de 1800 debido a los efectos adversos sobre las aves guaneras y la producción de guano observados.
1891 Luis Carranza Ayarza	El Niño (FEN)	Carranza publicó "Contra-corriente marítima observada en Paita y Pacasmayo".
1982 Camilo Carrillo	El Niño (FEN)	El término "Corriente del Niño" aparece por primera vez en la literatura.
1894 Víctor Eguiguren Escudero	El Niño (FEN)	Eguiguren publicó en el boletín de la Sociedad Geográfica de Lima acerca de "Las lluvias en Piura".
1895 Federico Alfonso Pezet	El Niño (FEN)	Durante el congreso geográfico internacional en Lima, Pezet expuso que "la corriente El Niño era responsable de las fuertes precipitaciones que afectaban a la costa norte del Perú durante los veranos de excesivo calor".
1897 H. H. Hildebrandsson	Oscilación Sur (OS)	Notó ciertas relaciones en la variación interanual de 68 series de 10 años de datos de presiones atmosféricas de todo el mundo.
1902 Norman Lockyer W. J. S. Lockyer	Oscilación Sur (OS)	Confirmaron la observación de Hildebrandsson de un aparente 'sube y baja' en las presiones entre Sudamérica y la región de Indonesia.
1904 Lockyer y Lockyer	Oscilación Sur (OS)	Encontraron que las fluctuaciones de presiones tenían extensión global con un periodo de aproximadamente 3-8 años.
1921 Brooks y Braby	Oscilación Sur (OS)	Con datos de estaciones en islas del Pacífico ecuatorial, encontraron consistentes relaciones entre lluvia, dirección del viento, temperatura del aire y humedad.
1926 Murphy	El Niño (FEN)	Documentó las torrenciales lluvias y la inusual contracorriente a lo largo de las costas del Perú y sur de Ecuador durante los primeros meses de 1925.

1932 Walker y Bliss	Oscilación Sur (OS)	Trabajó en la predicción de los monzones de la India. Hizo el mismo análisis de Hildebrandsson, pero con series de 40 años, deduciendo que hay pares de regiones en la que las presiones actúan al unísono, pero en sentido opuesto. Dado que la mayor parte del hemisferio sur era afectado por este fenómeno, Walker decidió llamarlo Oscilación Sur (ya se habían identificado a la Oscilación del Pacífico Norte y la Oscilación del Atlántico Norte) y la describió como la tendencia de presiones del Pacífico a incrementar cuando la presión en el Océano Índico disminuye.
1960 Jacob Bjerknes	El Niño - Oscilación Sur (ENOS)	El científico noruego reconoció que El Niño y la Oscilación Sur son manifestaciones de un mismo fenómeno referido ahora como ENOS (El Niño-Oscilación Sur). A partir de esta década se le empezó a llamar como ENOS.
1975 Wyrtki	EL Niño - Oscilación Sur (ENOS)	Estimó que una relajación de los vientos del este en el Pacífico Tropical precede al calentamiento de las aguas en esta parte del Pacífico.

Nota: Adaptado de Vargas (2015).

### 3.4 Conocimientos actuales del FEN

Los estudios de las últimas décadas exponen que el ENOS presenta tres fases bien diferenciadas: fase cálida, fase fría y fase neutra. Para caracterizar cada fase, los investigadores han analizado parámetros como la temperatura superficial del mar (TSM), la presión atmosférica, los vientos alisios, las precipitaciones, el nivel del mar, entre otros (Montero, 2019).

A continuación, se presentarán los índices de lluvias, atmosféricos y oceánicos que permiten categorizar la naturaleza de cada evento FEN.

#### 3.4.1 Índice de lluvia

Los registros históricos sirven de complemento y se hacen imprescindibles para calibrar cronologías provenientes de otro tipo de registros (Mabres, Woodman, & Zeta, 1993). Sin embargo, son muy útiles en la medida que se diferencie claramente la magnitud y la intensidad (Rocha).

Según Rocha, la magnitud se refiere al número de días de lluvias y a la cantidad total precipitada, mientras que intensidad se refiere a los daños producidos. Se debe tener en cuenta que, los daños pueden ser muy grandes, pero esto no significa que haya ocurrido un fenómeno de gran magnitud. Los daños que se producen dependen mucho de la vulnerabilidad de cada lugar. Además, la información de la magnitud e intensidad debe interpretarse dentro de los términos de la ingeniería (Rocha).

Las categorías con la que son consideradas cada evento del Niño se definen de forma distinta. Esto se debe a que los datos son tomados por distintos autores a partir de relatos de pobladores de la región, ya sea Piura, Lima, Lambayeque entre otras ciudades de la costa del Perú que se ven afectadas por el Fenómeno El Niño. Ortlieb (1992), evalúa la fuerza de la lluvia y la duración mencionadas en las fuentes históricas en las que se basa, por lo que deduce se consideraba las siguientes categorías de eventos El Niño:

- Años secos, aquellos que no presentaban lluvias, por lo cual no había cosecha o morían los animales.
- Ligeras Lluvias, Años en los que indica un año malo, los cuales se consideraban un año de El Niño muy Débil. Estas condiciones no ayudaban a la cosecha.
- Lluvias Regulares, indicarían un evento El Niño Débil. Se presentaban unos pocos aguaceros que bastaban para que crezcan los campos y era muy provechoso para los agricultores.
- Fuertes Aguaceros, según Quinn indican un evento moderado. Este permite una buena cosecha y buen pasto sin causar daño alguno a las construcciones.
- Lluvias extraordinarias, indicaban un año de El Niño Fuerte. Este puede ser temible para una ciudad, pero no tanto en el campo, según Quinn.
- Lluvias torrenciales, representaban un evento de El Niño muy Fuerte. Se considera catastrófico, causando daños a los sistemas de irrigación y los edificios de las ciudades, sin embargo, permitiría cosechar en las partes despobladas de las ciudades.

En la presente investigación, se tendrá en cuenta los archivos históricos que involucren la zona norte del Perú, siendo estos lugares Trujillo, Lambayeque, Tumbes y Piura. La inclusión de estos lugares adicionales a Piura se realiza con la finalidad de ampliar el estudio. Una consideración importante es que la región de Piura siempre se ha caracterizado por presentar lluvias fuertes en eventos de gran intensidad, por lo que, fuentes relacionadas a eventualidades ocurridas en Piura, siempre se consideran las más confiables (Mabres, Woodman, & Zeta, 1993).

### **3.4.2 Índices atmosféricos y oceánicos**

Tanto la dinámica del FEN global y del Niño Costero se desarrollan en el Océano Pacífico tropical e implican cambios notables en el sistema acoplado océano-atmósfera. Los índices atmosféricos y oceánicos, en una región determinada, se utilizan para monitorear el estado y los cambios en el sistema climático, con la finalidad de identificar la presencia de fenómenos mediante los valores extremos y tendencias (Montero, 2019).

La mayoría de los centros internacionales monitorean el Pacífico Central y emplean los índices asociados como el Índice Oceánico El Niño o el Índice de Oscilación Sur (Takahashi, Mosquera, & Reupo, 2014). Sin embargo, la ubicación geográfica del Perú hace que sea de los pocos países que necesitan de un parámetro atmosférico y de dos parámetros oceánicos para detectar la presencia de fenómenos climáticos como El Niño Costero, cuyo

comportamiento es influenciado por los cambios de las condiciones climáticas de las regiones Niño 3.4 (Pacífico Central) y Niño 1+2 (Pacífico Oriental) (Montero, 2019).

Algunos de índices atmosféricos y oceánicos son (Montero, 2019):

- **Índice de Oscilación Sur (SOI):** índice atmosférico que mide la diferencia entre la anomalía promedio mensual de presión atmosférica superficial en el Pacífico Central, medida en Tahití, y el Pacífico Occidental, medida en el puerto de Darwin – Australia. Los valores negativos/ positivos que indican la presencia de El Niño/La Niña.
- **Índice Niño Oceánico (ONI):** índice oceánico que se calcula en base al promedio de las anomalías de la TSM en la región Niño 3.4. La alerta para la condición El Niño/La Niña se da cuando los valores son mayores/menores a  $+0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 3 meses seguidos.
- **Índice Costero El Niño (ICEN):** índice oceánico establecido en el año 2011 por el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) que surge ante la necesidad de tener un índice más relevante para determinar la presencia de El Niño en el Perú y poder monitorear sus efectos locales (Takahashi, Mosquera, & y Reupo, 2014). Sin embargo, más adelante aparecieron otros índices oceánicos para el estudio de la zona costera como el Índice Térmico Costero Peruano (ITCP) y el Índices Laboratorios Costeros (LABCOS). El ICEN se calcula del promedio móvil de tres meses de las anomalías mensuales de la TSM en la región Niño 1+2 para reducir las fluctuaciones de alta frecuencia (Montero, 2019).

El comité decidió después de evaluaciones, que se utilizaría un umbral de categorías que corresponden a anomalías en temperaturas. Se está en presencia de El Niño con condiciones cálidas y La Niña cuando las condiciones sean frías (Takahashi, Mosquera, & y Reupo, 2014). Las categorías se muestran en la Figura 55.

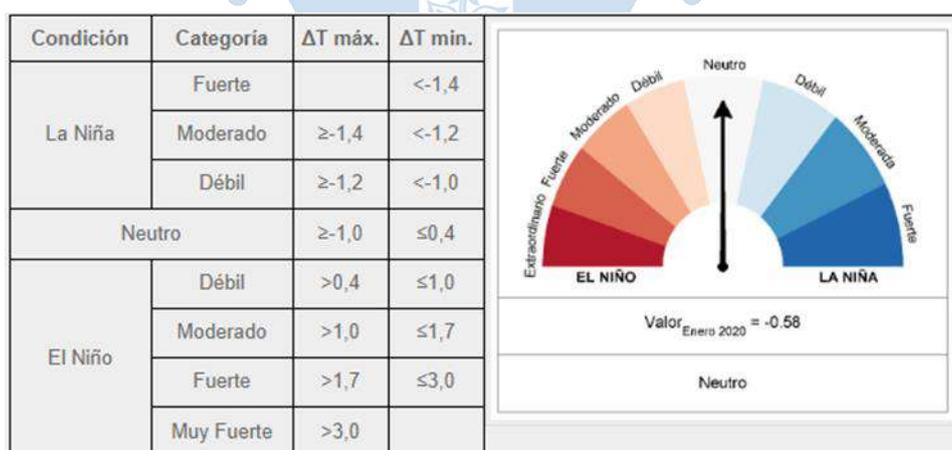


Figura 55. Categorías del Fenómeno El Niño y La Niña según ICEN

Fuente: IMARPE (2020).

Para la reconstrucción cronológica del FEN de la presente investigación, que comprende del año 1951 al 2019, fue necesario hacer uso de una lista publicada por el ENFEN

(2021). En su listado se puede observar eventos de El Niño costero y la Niña, de los cuales solo se consideró el listado de eventos El Niño.

En el Anexo 1 se da más información de los eventos El Niño ocurridos desde el año 1994 hasta el 2019. Los Fenómenos El Niño más recordados en Perú en este rango de años sucedieron en los años 1997-1998 y 2016-2017 debido a la intensidad de las lluvias presentadas en el departamento de Piura.

También, se ha hecho uso de varias publicaciones de Arturo Rocha Felices, profesor de la facultad de Ingeniería civil en la Universidad Nacional de Ingeniería y recordado por sus estudios sobre El Fenómeno El Niño. Las publicaciones utilizadas son “El Meganiño 1791 en el Perú y el Mundo” y “El Meganiño 1997 – 1998”. La primera publicación, trata a cerca de demostrar que entre los años 1789 y 1793 hubo grandes alteraciones en clima mundial, correspondiendo a eventos ENSO (El Niño Southern Oscillation). Es así, que se menciona el evento de 1791, el cual es catalogado como un meganiño. Por otro lado, la segunda publicación, que corresponde al año 2017, da a conocer la magnitud e impacto del evento tanto en el Perú como en el mundo.

De este autor se ha utilizado información para completar ocurrencias históricas en los eventos El Niño, ya que muestra los efectos que causaron dichos eventos en la ciudad de Piura.

Por otro lado, de acuerdo con lo que se mencionó en el apartado 1.3.3, el SEMANHI tiene una clasificación adicional para los eventos El Niño en Perú. Por ello a continuación se muestra en la Tabla 8 los años de posibles eventos con su respectiva clasificación.

**Tabla 8. Registros de los Niños Canónico, Extraordinario y Modoki**

Niño Canónico	Niño Extraordinario	Niño Modoki
1951,1953,1969 y 1972	1982-1983 y 1997-1998	1977,1990,1994,2002.2004,2009

Nota: Adaptado de Takahashi, K (2014).

### 3.5 Reconstrucción cronológica del FEN

A continuación, se presentarán las dos cronologías de documentación histórica más referenciadas del FEN: la realizada por Quinn et al. (1993) y la de Ortlieb et al. (1992, 2000). Ambas reconstrucciones proporcionan la fecha de ocurrencia, un índice de intensidad y un índice de confianza, y solo consideran las fases cálidas del ENSO.

También se presentará una cronología realizada por el SENAMHI mediante el índice ICEN; y posteriormente, se mostrará la cronológica histórica de los eventos FEN para el período 1525-1902 basada en registros documentales, señalando principalmente impactos

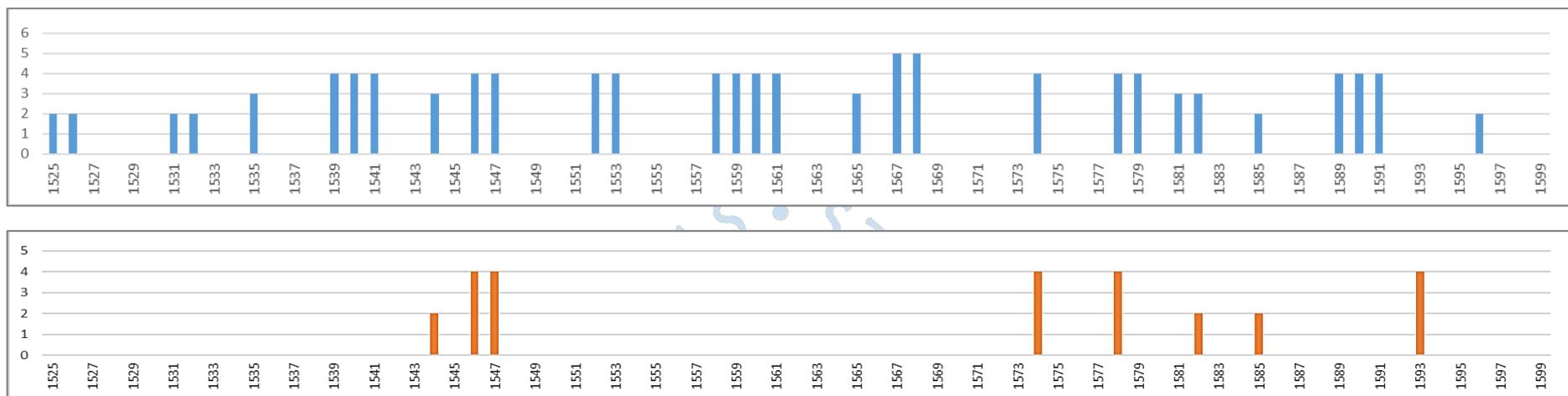
del FEN norte del Perú. Esta cronología se ha construido mediante la comparación de cronologías de diversos autores.

### **3.5.1 Reconstrucción del FEN por Quinn (1525-1992) y Ortlieb (1525-1900)**

En los últimos cinco siglos ha habido por lo menos 120 episodios El Niño, según las investigaciones históricas recopiladas por Quinn. Como se mencionó antes, esta cronología registró eventos climáticos inusuales en la región sudamericana según dos tipos de indicadores: un indicador regional, ya que estaba relacionado a ocurrencias en el norte de Perú, y otro indicador de gran escala, ya que incluía información de otras zonas de Sudamérica, donde el impacto de ENSO es a través de teleconexiones.

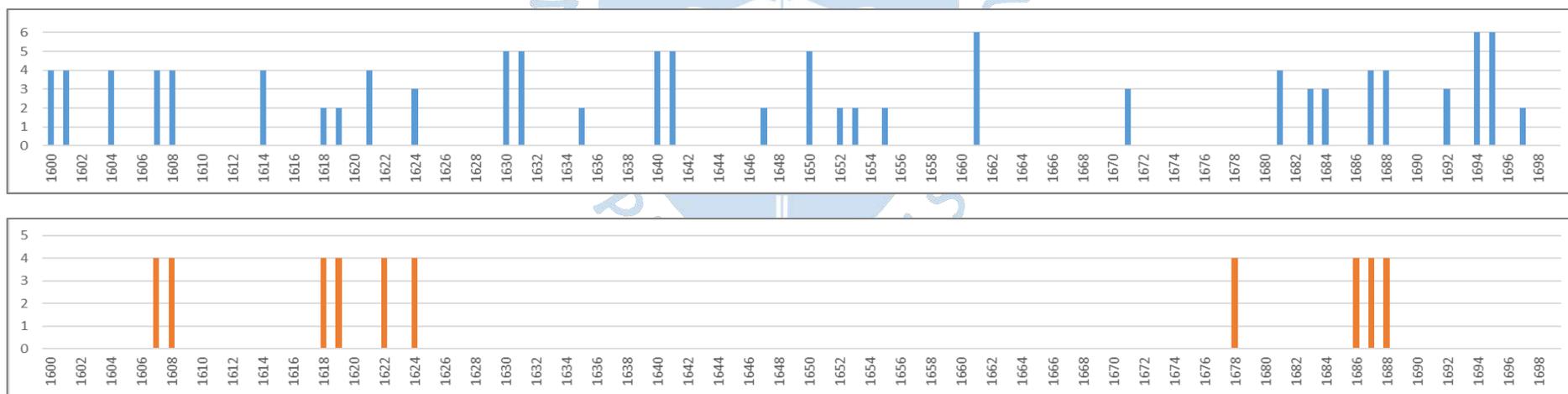
En las figuras que se muestran a continuación se pueden observar las gráficas de los eventos ENSO reconstruidos en el trabajo de Quinn (1993) para el periodo de 1525-1992, mediante el indicador regional. Las magnitudes de los eventos ENSO consideradas por el autor fueron moderado (M), fuerte (F) y muy fuerte (MF), con un "+" o "-" añadidos para valores intermedios. La escala de magnitudes general es M=-1, M=2, M+= 3, S = 4, F+= 5 y MF=6. Como se puede observar, en las siguientes figuras, el siglo XVI presenta menos eventos El Niño, mientras que el siglo XIX presenta mayores ocurrencias. Los siglos XVIII y XIX son los que presentan eventos de mayor magnitud (grado 6), mientras que el siglo XX es el que presenta más eventos de baja magnitud (grado 1).

En el caso de la reconstrucción de Ortlieb, es de las más actuales y completas, ya que se basa en diversos autores como Quinn y abarca de 1525 a 1900. Aquí, da sus comentarios acerca de las ocurrencias de fenómenos El Niño calificándolas con magnitudes en base a su investigación. Donde La escala de magnitudes general es D=1, M=2, S = 4, F= 4 y MF=5. Como se puede observar, en las siguientes figuras, el siglo XVI presenta menos eventos El Niño, mientras que el siglo XIX presenta mayores ocurrencias, al igual que la reconstrucción de Quinn. Además, el siglo XVII presenta mayor número de eventos FEN con magnitud igual a 4, sin embargo, se muestra un largo periodo de aproximadamente 50 años sin ocurrencia de eventos.



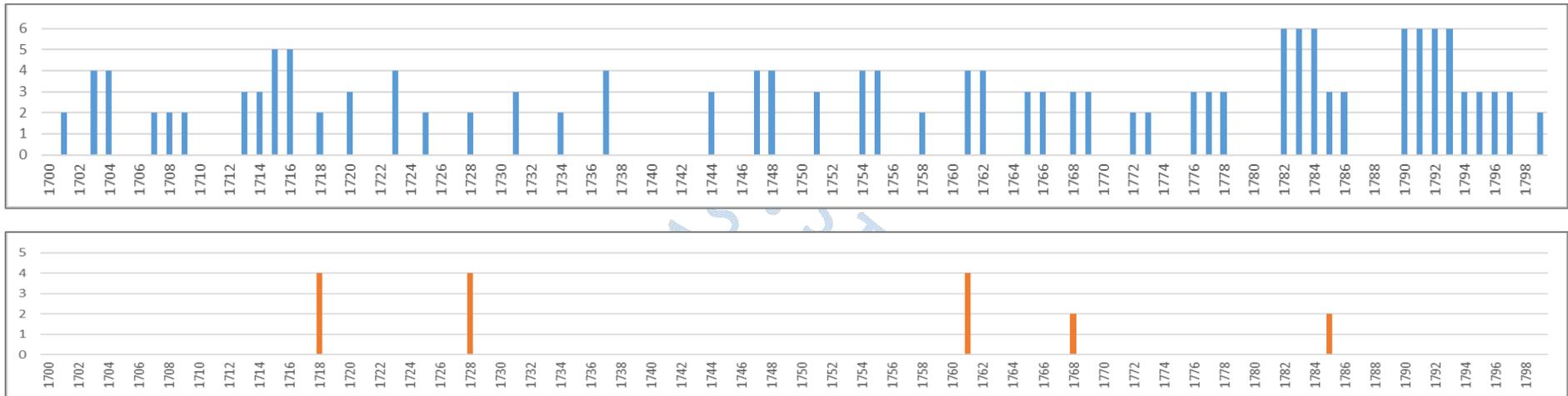
**Figura 56. Reconstrucción de ENSO durante el siglo XVI**

Fuente: Elaboración propia a partir de Quinn (1993) (arriba) y Ortlieb (2000) (abajo).



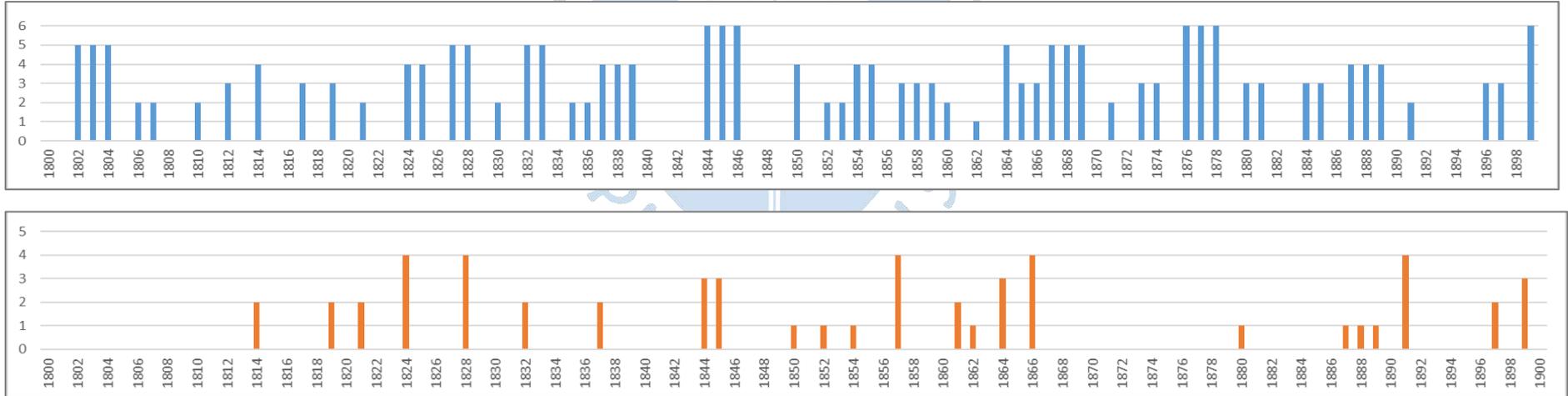
**Figura 57. Reconstrucción de ENSO durante el siglo XVII**

Fuente: Elaboración propia a partir de Quinn (1993) (arriba) y Ortlieb (2000) (abajo).



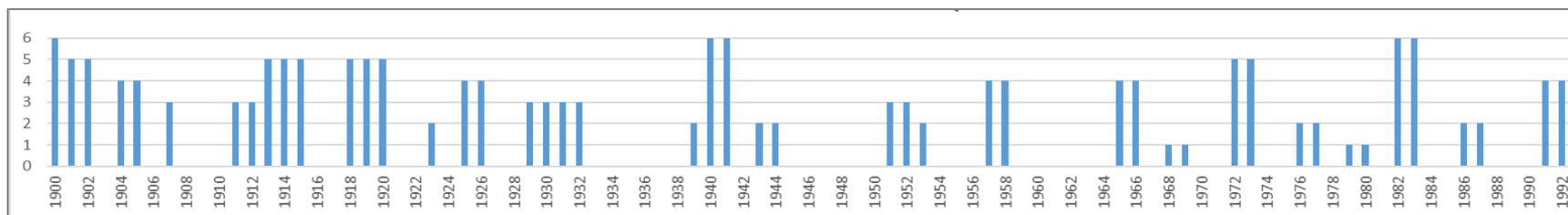
**Figura 58. Reconstrucción de ENSO durante el siglo XVIII**

Fuente: Elaboración propia a partir de Quinn (1993) (arriba) y Ortlieb (2000) (abajo).



**Figura 59. Reconstrucción de ENSO durante el siglo XIX**

Fuente: Elaboración propia a partir de Quinn (1993) (arriba) y Ortlieb (2000) (abajo).

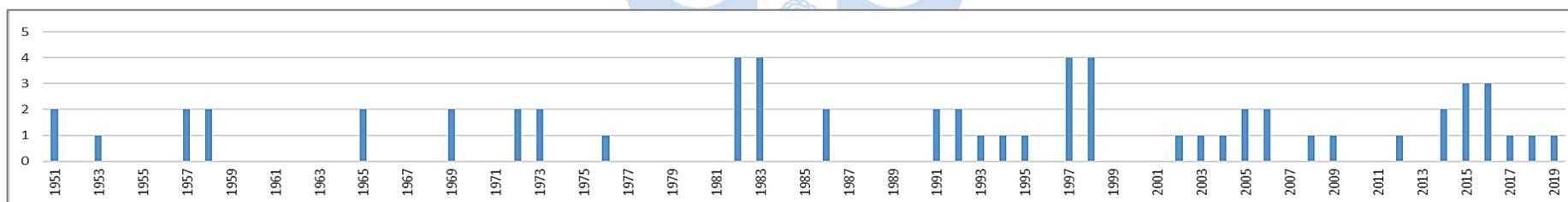


**Figura 60. Reconstrucción de ENSO durante el siglo XX**

Fuente: Elaboración propia a partir de Quinn (1993).

### 3.5.2 Eventos del FEN según SENAMHI (1951-2019)

Para representar visualmente la clasificación del SENAMHI desde 1951 al 2019 se decidió dar la siguiente nomenclatura, donde: Débil = 1, Moderado = 2, Fuerte = 3, Extraordinario = 4. Como se puede observar, en la Figura 61 el año 1982-1983 se registra la ocurrencia de un FEN de magnitud extraordinaria, al igual que el FEN 1997-1998. También, se presenta el FEN del año 2017 el cual es definido con magnitud Fuerte. Más adelante en capítulos posteriores, con datos históricos de precipitación, se podrá dar una idea de la diferencia de estos fenómenos. Además, se muestran otros eventos de magnitud débil y moderada. Por último, se puede notar que eventos que estas magnitudes se presentan con mayor frecuencia en los últimos 28 años.



**Figura 61. Reconstrucción de ENSO durante 1951-2019**

Fuente: Elaboración propia a partir de ENFEN (2021).

La reconstrucción final de posibles eventos FEN se puede observar en el Apéndice 2 con aproximadamente 200 eventos Niño en el periodo de 1525 -1970. Para ello se tomó en cuenta que la mayor parte de estudios afirme la ocurrencia de un evento, es decir, 4 autores o más.

### 3.5.3 Reconstrucción del FEN (1525-1992)

En el Apéndice 1 se muestran la reconstrucción cronológica de eventos del FEN elaborada por diversos autores que se complementan, abarcando desde el año 1525 al 1992, los cuales se muestran en la Tabla 9, obteniendo así una tabla de registros del Fenómeno el Niño con los últimos 400 años aproximadamente.

Respecto a la reconstrucción a partir de archivos históricos, se presenta la elaborada a por distintos autores. Quinn (1993), con sus dos indicadores (local y a gran escala). Dicho autor da distintas magnitudes: M- indica Moderado, pero en menor magnitud, M es moderado, M+ Moderado en mayor magnitud, F una magnitud fuerte, F+ magnitud fuerte mayor y MF muy fuerte. Ortlieb (1992) presenta y discute una cronología basada en Quinn del año 1987, y agrega información acerca de la intensidad de los eventos, mientras que Ortlieb (2000) muestra una cronología actualizada, en donde EN = EL Niño y la magnitud de los eventos se representa como MF = muy fuerte, F = fuerte, M = moderado, D = débil. Seiner (2001) representa la magnitud de probables ocurrencias del FEN como muy fuerte, fuerte, moderada. Garcia-Herrera (2008) cada año como Años no EN (cuando no hay pruebas o son dudosas), Posibles años de EN (cuando hay una evidencia clara y consistente) y Probables años FEN (cuando hay muchas evidencias claras y consistentes) y, además, se tienen las reconstrucciones de eventos FEN fuertes hechas por Hamilton (1986) e investigaciones de Rocha.

Respecto a las publicaciones actuales, se muestra la reconstrucción hecha por el SENAMHI con sus respectivas magnitudes, desde el año 1951 al 2019. Dicha información se ha obtenido de la página ENFEN. Estos eventos han sido calificados bajo las categorías del ICEN, las cuales han sido presentados anteriormente. Se debe recordar que para obtener la magnitud con ICEN, se tiene en cuenta las temperaturas del mar en la zona 1+2. Por otro lado, se muestran comentarios sobre hechos históricos en las zonas afectadas por los eventos el Niño.

**Tabla 9. Referencias de reconstrucción histórica del FEN de varios autores**

Título	Autor	Contenido
<i>Eventos de El Niño / Oscilación del Sur y sus Teleconexiones de Latitud Media asociadas 1531–1841</i>	Kevin Hamilton y Rolando R. García (1986)	Investigación sobre la cronología de los eventos de ENOS durante el periodo de 1531-1841. Se utilizan informes anecdóticos de lluvias significativas en el desierto costero del norte de Perú para fechar varios eventos probables de ENOS. Además, se expone sobre la posibilidad de usar varios tipos de datos proxy para identificar aspectos de los patrones de teleconexión global generalmente asociados con eventos ENOS tropicales.

<i>Eventos El Niño y Lluvias anormales en la costa del Perú: siglos XVI-XIX</i>	Anne-Marie Hocquenghem y Luc Ortlieb (1992)	Trabajo de investigación que presenta y discute los textos en los cuales de basa la cronología de Quinn en 1987, donde se juntan los principales textos históricos que mencionan lluvias anormales y anomalía meteorológicas ocurridas en el Perú entre 1532 – 1891. Además, se presenta en un cuadro resumen los datos disponibles de lluvias en el norte del Perú y un intento de clasificación de las anomalías climáticas, haciendo crítica de la intensidad de algunos eventos.
<i>La gran escala de eventos del ENOS, El Niño y otras características regionales importantes</i>	William H. Quinn (1993)	Investigación sobre los ENSO de gran escala, el Niño y otros rasgos climáticos regionales asociados para proporcionar razonables y fiables perspectivas sobre el inicio, extensión de área, duración e intensidad de estas fluctuaciones climáticas océano-atmosféricas recurrentes asociadas a la Oscilación Sur. Se amplía y mejora la investigación de trabajos anteriores (Quinn et al., 1978; 1987; Quinn & Neal, 1992), y se analizan datos y registros obtenidos mediante documentación histórica.
<i>El registro histórico documentado de los sucesos de El Niño en el Perú: una actualización del registro de Quinn (siglos XVI al XIX)</i>	Luc Ortlieb (2000)	Trabajo de investigación basado en Quinn de 1993, donde realiza una revisión de dicho trabajo. Además, cuenta su propia cronología hecha en 1992 y la de Quinn en el año 1987. Al juntar fuentes documentales del Perú, realiza una cronología tomando en cuenta la intensidad del evento, el lugar de ocurrencia, las fuentes en las que se basaron dichos textos, entre otros comentarios
<i>El fenómeno El Niño en y el Perú: reflexiones desde la historia</i>	Lizardo Seiner (2001)	Se mencionan los FEN más representativos del siglo XX y la necesidad que generaron sobre comprender mejor estos eventos, alentando el desarrollo de investigaciones en distintas disciplinas. También presenta algunos ejemplos que demuestran la ocurrencia de desórdenes climáticos registrados en el Perú desde la llegada de los españoles en el siglo XVI, a partir de registros históricos, y expone lo que se conoce sobre El Niño hasta el siglo XX.
<i>Una cronología de los eventos de El Niño a partir de fuentes documentales primarias en el norte del Perú</i>	R. Garcia-Herrera, D. Barriopedro, E. Hernández, H. F. Diaz, R. R. Garcia, M. R. Prieto y R. Moyano (2008)	Presentan una cronología de los eventos de El Niño durante el período 1550-1900 basados en registros documentales del norte de Perú a partir de fuentes primarias principalmente de la ciudad de Trujillo. Esta cronología se compara con las cronologías de Quinn y Ortlieb, y con indicadores ENSO derivados de datos proxy distintos de fuentes documentales.
<i>El Meganiño de 1771 en el Perú y el Mundo</i>	Arturo Rocha	En este trabajo se trató de demostrar que en el periodo 1789 y 1793 existieron grandes alteraciones a nivel mundial, lo cual conllevó al desarrollo de El Niño. Principalmente, se habla de los impactos que generó el evento de 1791. Rocha

		considera a este evento como un Meganiño, para lo cual se basó en diferentes escritos de la época. Además, muestra un cuadro resumen de los posibles eventos con sus impactos en el Perú.
<i>El Meganiño 1997-1998</i>	Arturo Rocha (2014)	Trabajo de investigación que muestra las anomalías presentadas en el periodo del Niño de 1997-1998, datos hidrometeorológicos como precipitaciones y caudales. Además, da a conocer los impactos en diversas partes del mundo y en la costa norte del Perú.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.6 Evidencias del FEN en la prehistoria norperuana

Según investigaciones arqueológicas, civilizaciones de la prehistoria peruana se han visto afectadas por el FEN en el pasado.

Existen investigaciones que han determinado que, en sus orígenes, El Niño ocurría de forma irregular. Ari Caramanica, arqueóloga estadounidense de la Universidad de Harvard, explica que es a partir del año 5000 a.C. que su frecuencia se incrementaría, y expone que una de las primeras culturas que enfrentaron el evento climático fue la Cupisnique (1500-1000 a.C.), quienes se asentaron en los valles de Virú y Lambayeque; posteriormente, lo padecieron los habitantes de las culturas Moche y Chimú. En una entrevista con el diario El Comercio, la investigadora expuso que los antiguos peruanos se adaptaron a El Niño y lo resistieron (Diario El Comercio, 2017).

Por su parte, el arqueólogo Walter Alva, director del Museo Tumbas Reales de Sipán, y una autoridad en la investigación de la cultura Moche, tiene una teoría diferente, la cual expone que El Niño fue el motivo de la caída de la cultura Moche y de otras culturas norteñas, debido a las inundaciones y a la devastación de los terrenos agrícolas (Diario El Comercio, 2017).

Según Peter Kaulicke, existen ciclos de alteraciones climáticas llamados REAC (Radical Environmental Alteration Cycles)<sup>11</sup>, los cuales tienen periodicidad poco conocida y una graduación de intensidad hasta de magnitud pleistocénica. Por ejemplo, en el caso de los ENSO, se tenían intensidades mayores a las del año 1883 (Kaulicke, 1990). Estos eventos deben haber causado grandes impactos y como respuesta a estos se tienen 2 posibles consecuencias observables en registros arqueológicos. Estas consecuencias son, la permanencia en el lugar por haber encontrado mecanismos para contrarrestar los impactos de los fenómenos y, por otro lado, el desplazamiento y abandono del lugar, sin embargo, pudo haber una posible reocupación posterior en estas zonas, ya sea por la misma sociedad o por otras (Kaulicke, 1990).

---

<sup>11</sup> Fenómenos como los movimientos tectónicos y el ENSO (Kaulicke, 1990).

### **3.6.1 Evidencias del FEN en la cultura Moche**

La cultura Moche (o Mochica) se desarrolló entre los años 100 d.C. y 700 d.C. Su territorio se extendió al norte, por el valle del río Jequetepeque (ubicación de los complejos arqueológicos San José de Moro y la huaca Dos Cabezas) y por el valle del río Lambayeque (ubicación de Sipán y Pampa Grande). Por el sur, ocuparon el valle del río Moche (ubicación de la Huaca del Sol y la Huaca de la Luna) y el valle del río Chicama (ubicación de El Brujo). A pesar de asentarse en zonas de gran aridez, los moches vencieron al desierto a través de la irrigación artificial, lo que les permitió contar con grandes excedentes agrícolas. Sin embargo, según la explicación de Alva, este espléndido sistema de irrigación también tenía un alto riesgo de colapso ya que un pueblo que vive de la agricultura en el desierto está expuesto a las lluvias y la sequía, dos fenómenos contradictorios que pueden terminar con una sociedad (Diario El Comercio, 2017).

Se cree que en el siglo VI la sociedad Mochica se vio afectada por El Niño y sus precipitaciones torrenciales, las cuales asolaron la región a lo largo de treinta años, y como consecuencia de las inundaciones, se contaminaron canales y manantiales, erosionando miles de hectáreas de terreno cultivable; además, se disolvieron parte de los palacios y pirámides de barro, y el lodo arrasó a los poblados construidos con adobe y caña. A las muertes originadas por las inundaciones le siguieron las fiebres y las epidemias (Diario El Comercio, 2017).

Si bien en la iconografía moche no se han encontrado representaciones de la destrucción propias de las inundaciones, es la arqueología la que ofrece señales de afectación en los templos moches a causa de las lluvias torrenciales. Alva señala que, en el caso de Sipán, se encontró que, alrededor del siglo IV, hubo un fenómeno que erosionó fuertemente el monumento, y posteriormente los moches lo reconstruyeron. Al diluvio le siguió un ciclo de sequía a lo largo de otros treinta años, y a los pocos años retornaron las lluvias torrenciales seguidas de nuevas sequías. Estos contrastes climáticos debilitaron profundamente las bases de la economía de la sociedad moche, pero el motivo definitivo del colapso de su gobierno fue la falta de capacidad de la clase dirigente ante la dura situación. A fines del siglo VII, un nuevo evento El Niño arrasó buena parte de los sistemas de regadío cercanos a Pampa Grande y Galindo, lo cual terminó por desmoronar el sistema político mochica y su remanente pasó a ser parte del creciente Estado Wari (Diario El Comercio, 2017)

Otro análisis sobre la desaparición de los Moche plantea otras causas de cierto modo diferentes a las expuestas por Alva y expone que los mochicas colapsaron dos veces. Ambas fechas podrían coincidir con eventos climáticos, como fenómenos de El Niño, aunque es difícil establecer una correlación directa por la frecuencia de estos fenómenos. A pesar de ello, una de las hipótesis más difundidas entre los científicos es que las lluvias y los desbordes de los ríos habían sido la causa del colapso mochica, a raíz de la devastación causada por las lluvias de 1983 y 1998 (Diario El Comercio, 2017).

El primer colapso, hacia el 600 d. C., coincidió con el abandono de la Huaca de la Luna y el inicio de la construcción de la Huaca del Sol. Las excavaciones de Santiago Uceda y Ricardo Morales indican que no solo se trató de una mudanza, sino de un debilitamiento de los sistemas políticos y sociales del Estado Mochica del cual parecen haberse recuperado haciendo cambios drásticos en sus formas de organización y gestión económica, lo que implicó formas más seculares de liderazgo (Diario El Comercio, 2017).

Para el segundo colapso, hacia el 850 d. C., coexistían en la costa norte una docena de diferentes entidades políticas mochicas, pequeños estados y reinos, cada uno con su propia organización, pero compartiendo un sistema cultural y religioso, prueba de esto son las tumbas reales que se han encontrado en Sipán, Úcupe, San José de Moro, El Brujo, Huaca de la Luna, etc. Cada estado Mochica experimentó entre el 750 y 850 d. C. un proceso de colapso del que no se pudo recuperar, lo cual marcó el final definitivo de su sistema de gobierno, y las tradiciones que estaban relacionadas con esta clase gobernante, aunque no implicó la muerte de la población o el abandono de los campos de cultivo (Diario El Comercio, 2017).

Si bien los fenómenos de El Niño, u otras calamidades como terremotos o sequías prolongadas, pudieron ser los catalizadores de estos colapsos, al igual que lo expresado por Alva, se cree que el verdadero motivo del colapso fue la incapacidad de sus sistemas administrativos, de los gestores del Estado, de reaccionar ante estos eventos, lo que los hizo desaparecer, dando paso a sociedades diferentes, como Lambayeque y Chimú, pero que continuaron con la tradición de las sociedades mochicas (Diario El Comercio, 2017).

Otra investigación es la de los arqueólogos Santiago Uceda y José Canziani (1993) quienes realizaron un estudio sobre la secuencia constructiva (remodelaciones) de la Huaca de La Luna realizada por los mismos Moches, presentando también la secuencia de fenómenos pluviales. A partir de depósitos aluviales, obtuvieron resultados que muestran evidencias de grandes precipitaciones en las diversas etapas constructivas del complejo arqueológico que podrían estar ligados a eventos FEN debido a que estas condiciones de lluvias en la costa norte del Perú suelen ser producto de estos eventos (Uceda & Canziani, 1993).

En su publicación, exponen que tan La Huaca del Sol como de La Luna han sido consideradas como el centro político de la sociedad Moche, siendo las excavaciones realizadas por Theresa Topic (1977) en la planicie entre las dos huacas, las que permitieron registrar la existencia de un gran centro poblado, donde los diferentes tipos de construcciones y acabados indican la presencia de clases sociales bien marcadas. También mencionan que la aparición de estos centros urbanos en las partes medias de los valles costeros ha sido interpretada de dos maneras distintas: según Lumbreras (1969), dicho desplazamiento se produjo con el objetivo de defender las bocatomas de sus canales ante la invasión de los Wari; mientras que Nials et al. (1979) sostienen que esto se debió a los grandes eventos catastróficos, como el FEN, ya que destruyeron los campos de cultivo y sus poblados en la parte baja del valle (Uceda & Canziani, 1993).

La Huaca de La Luna tiene una extensión aproximada de 290 m de norte a sur y de 210 m de este a oeste, y está conformada por plataformas y plazas (grandes patios), las cuales están delimitados por muros de adobes. Los estudios realizados hasta esa fecha por Uceda y Canziani establecieron cuatro etapas reconstructivas del complejo arqueológico, algunas de las cuales se asocian a fenómenos pluviales intensos por la presencia de gruesos sedimentos, los cuales en muchos casos están depositados intercaladamente con pisos de remodelación (Uceda & Canziani, 1993).

De las cuatro etapas constructivas, la primera y cuarta presentan menor información debido a implicancias de las excavaciones y a la destrucción que ha sufrido este edificio. La segunda y tercera etapa presentan dos remodelaciones cada una, y cada piso de las remodelaciones está asociado a gruesos sedimentos producto de lluvias. El piso del Corredor Oeste de la plataforma superior y la rampa R3, muestra sedimentos de lluvias como efecto de la erosión provocada por las mismas, de lo cual se infirió que tanto las tres últimas etapas constructivas y sus respectivas remodelaciones están asociadas a fenómenos de lluvias intensas, siendo la segunda etapa constructiva donde se registran las primeras evidencias de lluvias. Los investigadores proponen la posibilidad de que cada evento de lluvia habría ocurrido cada 50 a 60 años en promedio y resaltan lo comentado por Huertas (1987) quien señala que por los registros históricos se sabe que los eventos El Niño no tienen la misma intensidad ni afectan homogéneamente toda la costa norte (Uceda & Canziani, 1993).

Como conclusiones, los autores también argumentan que las sociedades de la costa norte convivieron con el fenómeno de El Niño, el cual ha sido cíclico y permanente, pero que los cambios culturales responden a múltiples causas y dentro de ellas están los fenómenos naturales, los cuales no necesariamente implican grandes Niños. Además, la repetición de estos eventos y su asociación con las reconstrucciones del monumento podría indicarnos que, en algunos casos, la sociedad Moche trató de refaccionar los daños, pero en otros emprendió obras de remodelación de mayores proporciones. Esto podría significar que la remodelación sólo pudo lograrse si la sociedad tuvo la capacidad económica-alimentaria de hacerle frente a una catástrofe de esas dimensiones e iniciar el nuevo proyecto. Dependiendo de la repercusión, se pudo en algunos casos emprender estas obras rápidamente, luego de ocurrida la catástrofe (Uceda & Canziani, 1993).

### ***3.6.2 Evidencias del FEN en el Complejo arqueológico Purulén***

Alva explica que el fenómeno de El Niño determinó la caída de otras civilizaciones previas a los moches que se establecieron en la misma zona. Se han encontrado señales de eventos catastróficos, incluso hoy en día difíciles de manejar, como es el caso del complejo arqueológico Purulén (1200 a.C.), siendo el mismo Alva (1983) quien realizó las primeras investigaciones, logrando identificar las diferentes construcciones internas (Diario El Comercio, 2017).

Alva indicó que fue un centro ceremonial y su extensión es de 3 000 metros cuadrados. Este sitio muestra evidencias de lo que fue el primer gran mega-El Niño hace 3 200 años, porque Purulén fue abandonado por efecto de un Niño devastador, que cambió el curso del río Zaña (ANDINA, 2018).

Tal parece que en Purulén hubo un gran complejo semiurbano que colapsó, lo cual afectó en demasía a su población, ya que esta dependía de la agricultura y de la pesca. Cuando el río Zaña cambió de curso, dejó inútiles los campos de cultivo, causando que la gente abandonara el lugar porque ya no podía sembrar, y probablemente tampoco podía pescar. Hay señales de que los monumentos, los templos y las aldeas de los alrededores fueron abandonados de manera violenta y rápida, y se piensa que sus antiguos habitantes se dispersaron en aldeas por todo el valle. Alva también cita el caso del colapso de la cultura Lambayeque, alrededor del año 1100, a causa de un diluvio que destruyó todos los sistemas de riego, seguido luego por sequía. Señala de que El Niño ha sido siempre un problema catastrófico (Diario El Comercio, 2017).

### **3.6.3 Evidencias del FEN en la cultura Chavín**

En la publicación hecha por Kaulicke se pueden leer investigaciones hechas por Carrión Cachot, que dan con posibles Niños que podrían haber afectado a la cultura Chavín, la cual se desarrolló entre los años 1000 a.C y 200 a.C y ubicada en el departamento de Ancash. Se menciona la posible presencia de un aluvión aparénteme antes de los Chavín y el segundo que destruye los restos de esta cultura (Kaulicke, 1990).

Otras observaciones se centran en los efectos en la arquitectura, a partir de las excavaciones hechas en Nepeña y Casma<sup>12</sup> en los años 1933 y 1937 respectivamente. Estas excavaciones encontraron que el edificio de Cerro Blanco fue destruido y sepultado por una avalancha de lodo y luego derrumbado y rellenado, esta situación se repite con el Templo de Punkurí, puede que hayan sido contemporáneos en la destrucción (Kaulicke, 1990). Por otro lado, para el Cerro Sechín se puede observar una secuencia constructiva donde se reemplazan edificios luego de posibles inundaciones que hayan destruido estos, aquí aparecieron restos de alfarería del tipo clásico de Chavín (Kaulicke, 1990). Por ello, Carrión Cachot define que el final de la civilización Chavín se pudo dar por movimientos sísmicos y aluviones, cuyas huellas quedan en los restos arqueológicos (Kaulicke, 1990).

Si bien queda claro que hubo alteraciones geomorfológicas, aún es difícil aclarar la naturaleza del evento y asumir como cauda a un Niño o Mega Niño. También se menciona que podrían a ver problemas cronológicos en la documentación, lo cual no permite fechas de forma correcta los eventos observados por Carrión (Kaulicke, 1990).

---

<sup>12</sup> Ciudades ubicadas en el departamento de Ancash.

### **3.6.4 Evidencias del FEN en la cultura Vicús – Alto Piura**

En el estudio hecho por Peter Kaulicke se muestra un caso de estudio para el periodo Intermedio Temprano en el Alto Piura. Esta investigación, es una contribución de la cronología de fenómenos en los Mochica, dicha cultura es muy discutida en cuanto a su presencia en el Alto Piura. La atención se centra en la cultura Vicús, la cual presenta muchos enigmas, ya que se observa presencia de diferentes estilos, tanto de Colombia, Ecuador y Perú (Kaulicke, 1990). La cultura Vicús se ubica en el Alto Piura en las provincias de Morropón, Ayabaca y Huancabamba y se desarrolló en el periodo de 100 a.C y 400 d.C.

En las investigaciones realizadas se limitan a la zona Vicús-Tamarindo, estudiada durante el año 1987 y 1990. Dichos estudios se realizaron en 11 sectores, los cuales forman un total de más de 1 330 m<sup>2</sup>. Dichas evidencias corresponden a los estilos Vicús y Mochica y muy pocas evidencias de los Chimú (Kaulicke, 1990).

Según las investigaciones hechas por Peter Kaulicke en el año 1993, es posible que hayan ocurrido 3 eventos de mayor impacto. El primer evento es probable que haya ocurrido en siglo IV d.C, el cual antecede a significativos cambios culturales que conllevan la introducción de elementos del estilo Mochica (Kaulicke, 1990). El segundo, presenta efectos aún más impactantes, acompañado de una notable disminución de evidencias, ya que después de este no hay evidencias claras de presencia de los Mochica (Kaulicke, 1990). Este evento se habría dado en el VI siglo d.C. Por último, el tercer evento antecede a la ocupación Chimú-Inca (Kaulicke, 1990).

Durante las excavaciones realizadas se encontró evidencia de posibles precipitaciones. Por ejemplo, en superficies orgánicas se encontraron plantas que presentaban un exceso de humedad en las raíces, lo cual solo se produce después de lluvias fuertes (Kaulicke, 1990). Así también, se muestran grandes bloques de barro como parte de la arquitectura destruida.

Por otro lado, en Vicús Tamarindo se pudo observar posibles huellas de postes, capas de ceniza con huesos y cerámica que pueden evidenciar un primer derrumbe y un segundo derrumbe con restos de muros (Kaulicke, 1990). Si bien, estos derrumbes podrían ser consecuencia de una destrucción intencional, la mayoría están cubiertas por una matriz de barro y parecen ser evidencia de erosión y destrucción. En otras de las zonas, donde se encontraron postes, zanjas y zonas de combustión, se pudo observar que las superficies están cubiertas por una costra de barro endurecido que hace resaltar evidencias ocupacionales (Kaulicke, 1990). Se deduce que posibles precipitaciones inundaron el lugar y lo convirtieron en lodo, creando una nueva superficie.

El conjunto de evidencias descritas en la investigación, demuestran que en la zona Tamarindo de Vicús aparentemente presenta 3 subdivisiones cronológicas (Kaulicke, 1990). La primera es anterior a las primeras evidencias de ocupación y está aún por definirse. La segunda

ocupación presenta evidencias en su mayoría entre el primer y sexto siglo de nuestra era. Por último, el tercero presenta evidencias posteriores al sexto siglo.

La primera subdivisión no se observa en todas las excavaciones. Las alteraciones por efectos pluviales y eólicos resultan en la reducción notable de sedimentos, lo cual conlleva a una menor actividad constructiva que se pudiera haber conservado. Se deduce la presencia de precipitaciones a diferentes magnitudes debido a la necesidad de renovar pisos o la arquitectura a un ritmo acelerado (Kaulicke, 1990). Se menciona que, no se dispone de suficientes fechados en  $C^{14}$  para precisar la cronología absoluta del evento, sin embargo, podría haber ocurrido en el tercer siglo o quizá a comienzos del cuarto d.C (250 a 300 d.C) (Kaulicke, 1990). A este rango de tiempo estaría asociada la llegada de los Mochica.

La segunda subdivisión presenta mejor conservación, la cual se debe a escalas diferentes y actividades constructivas constantes. Este evento probablemente ocurrió en la segunda mitad del sexto siglo (Kaulicke, 1990). Aquí se muestran derrumbes de adobe y flujos de barro diluido en las construcciones. El tercer evento, según Kaulicke, ocurrió antes de 1400 d.C y posterior a la ocurrencia del segundo evento (Kaulicke, 1990).

Kaulicke realiza comparaciones con las cronologías de los cordones litorales en Colán y Chira, las cuales son registros paleoclimáticas que evidencian la presencia de Niños fuertes (Kaulicke, 1990). Estas son la única posibilidad de comparación con la que se contó en el estudio, por ello, las cronologías de los eventos deben entenderse como sugerencias que requieren más investigaciones y fechados de excavaciones.

### **3.6.5 Evidencias del FEN en la cultura Chimú**

Según las investigaciones hechas por Nials, Deeds y otros publicada en 1979, los restos arqueológicos más adecuados para evidenciar Niños pasados son las estructuras largas como canales, carretera y muro, que atraviesan barrancos y quebradas y estas deben estar intactas a lo largo de su curso total (Nials, y otros, 1979). Un canal puede ser abandonado porque ocurrió un desastre o por otras razones, fue posible conocer estas alternativas en las más de 400 excavaciones que se abrieron en estructuras de riego en las investigaciones hechas sobre la cultura Chimú (Nials, y otros, 1979). La cultura Chimú se desarrolló entre los años 1200 d.C a 1470 d.C, en la Libertad en el Valle de Moche y su territorio se expandió desde Tumbes hasta Barranca.

Se pudo encontrar que los depósitos de canales destruidos por eventos a menudo muestran haber sido obstruidos o enterrados por sedimentos aluviales. En las investigaciones descritas se encuentra que el sistema de riego Chimú estaba operativo cuando fue inundado y destruido (Nials, y otros, 1979). Así también, se encontró que cuando los Chimú reconstruyeron los sistemas de riego, a menudo colocaban la reconstrucción de los canales ligeramente más altos que los anteriores. Por lo tanto, muchos drenajes son atravesados por un Canal Viejo y uno nuevo (Nials, y otros, 1979).

Según las investigaciones realizadas, se podría decir que lo que acabó con el sistema Chimú fueron la combinación de los efectos de todas las inundaciones a causa de los eventos Niño (Nials, y otros, 1979). Sin embargo, esto no puede ser así, ya que las reconstrucciones a menudo estaban revestidas de piedra y eran cada vez más resistentes. Por ello, se considera que los canales anteriores se destruyeron por su mayor antigüedad y por tener una construcción más sencilla (Nials, y otros, 1979).

En el año 1978 los científicos decidieron utilizar evidencias arqueológicas para evaluar la existencia de un evento de inundación, para lo cual fueron elegidos la Quebrada Rio Seco y el Río Moche. Río Seco fue cultivado extensivamente por los Chimú, quienes construyeron numerosos canales y caminos (Nials, y otros, 1979). La topografía y excavación demostró que los canales habían sido destruidos en la inundación Chimú (Nials, y otros, 1979).

Así también, existe evidencia que dentro de la llanura se construyó el pueblo de Cerro La Virgen<sup>13</sup>. Se encontró una gran carretera que recorrían el canal y la ciudad, lo cual da a entender que son contemporáneas en uso, por lo tanto, el pueblo también fue impactado por la inundación (Nials, y otros, 1979). Además, se encontró sedimentos de inundación en los pisos de las habitaciones y restos ocupacionales, lo cual indica que la ciudad estaba habitada en el momento de la inundación y luego fue abandonada (Nials, y otros, 1979).

Por otro lado, las tierras a lo largo del Río Moche son cultivadas intensivamente en la actualidad, lo cual impide tener evidencias claras de inundaciones pasadas (Nials, y otros, 1979). Sin embargo, al sur del río hay menos desarrollo agrícola, por lo que hay mejor preservación geológica y arqueológica (Nials, y otros, 1979). Particularmente existen 2 localidades importantes, la Hacienda Santo Domingo y la Huaca del Sol (Nials, y otros, 1979).

En la Huaca del Sol se encontró que, antes de los Chimú reutilizar la estructura de adobe de la Huaca del Sol, esta había sido completamente saturada de agua hasta que las paredes se volvieron una consistencia fangosa. Para 1978 se realizaron estudios, en los cuales se encontró depósitos de inundación cercanos a la Huaca del Sol, los cuales datan de los primeros tiempos de Chimú y presentaban más de 8 m por encima de la altura del nivel actual del río Moche (Nials, y otros, 1979). Así también, en la Huaca de la Luna al parecer habría sido saturada por aguas fluviales extremadamente altas, los depósitos de inundación frente a la estructura eran de m sobre el nivel actual del río Moche y 8 m por encima de la altura de la inundación de 1925 (Nials, y otros, 1979).

Según Nials, la inundación de Chimú fue asombrosa, el río probablemente alcanzó un ancho máximo de casi 4 km y una profundidad superior a los 15 m. Estas cifras se vuelven más

---

<sup>13</sup> El complejo arqueológico "Cerro de la Virgen" es un sitio monumental precolombino, calificado de comunidad rural, edificado por los chimús. Está ubicado a 18 km de Trujillo, en la jurisdicción de Huanchaco, Provincia de Trujillo, Región de La Libertad. [https://es.wikipedia.org/wiki/Cerro\\_de\\_la\\_Virgen\\_\(complejo\\_arqueol%C3%B3gico\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Cerro_de_la_Virgen_(complejo_arqueol%C3%B3gico))

impresionantes, ya que se tiene que el anual lluvioso de la zona es menor a 12 mm en promedio (Nials, y otros, 1979).

Aunque no se puede afirmar definitivamente que las inundaciones del Río Moche y Quebrada Seca fueron resultado del mismo Fenómeno El Niño, es poco probable que 2 inundaciones diferentes de tal magnitud hayan ocurrido dentro de un periodo de tiempo tan corto (Nials, y otros, 1979). Se cree que El Niño de 1925 parece leve comparado con el que acabó con los Chimú (Nials, y otros, 1979).

Incluso se habla de una leyenda de los Chimú (Nials, y otros, 1979):

Hace mucho tiempo los españoles registraron una leyenda de Chimú, según cuenta, eran una nación poderosa hasta que su rey provocó la ira de los dioses y como castigo llovió durante 30 días y noches. Las devastadoras inundaciones cesaron solo cuando la población se levantó, ató al rey de pies y manos y arrojó él en el océano. Siguió una gran hambruna y pestilencia, que duró incontables años.

Lamentablemente, cuando se hizo la investigación solo se tenía evidencia de la inundación de 1925 y 1891 con la que se pudo hacer comparaciones. De acuerdo con ello, se estimó que las inundaciones de la cultura Chimú tuvieron un flujo máximo de al menos dos o cuatro veces el tamaño de la inundación de 1925 (Nials, y otros, 1979).

Existen otras investigaciones que evidencian el Fenómeno ocurrido durante la época de los Chimú. Por ejemplo, investigaciones científicas financiadas por *National Geographic Society*, revelaron un evento de sacrificio infantil en la cultura Chimú, supuestamente, con la finalidad de aplacar las catástrofes naturales ligadas al fenómeno El Niño. Así lo afirmó *The Associated Press* Gabriel Prieto, profesor peruano de arqueología de la Universidad Nacional de Trujillo, quien lideró el proyecto junto al antropólogo físico estadounidense John Verano, de la Universidad de Tulane (Diario Gestión, 2018).

Los restos descubiertos de niños ofrecidos en un ritual de la cultura Chimú, sería el más grande hallazgo de sacrificios de infantes en el mundo (Diario Gestión, 2019). El sitio de sacrificio masivo de niños fue descubierto en el sector Pampa La Cruz en Huanchaco, un municipio costero de Trujillo, a 700 km al norte de Lima. quien explicó que los restos tienen entre 1,200 y 1,400 años de antigüedad (Diario Gestión, 2019).

Se dice que esta época hubo conflictos por el poder, sin embargo, también aparecieron versiones más intensas del Fenómeno El Niño. Las lluvias e inundaciones fueron muy intensas por lo que los sacerdotes chimúes ordenaron el sacrificio de niños y llamas jóvenes para aplacar la ira de los dioses, explicó Huerta (Diario Gestión, 2019).

Según National Geographic, se acabó con la vida de más de 140 niños y más de 200 llamas (National Geographic, 2018). Así también se indica en el diario Gestión (2018): "Posiblemente ofrendaron lo más importante que tenían como sociedad y lo más importante

es el futuro, los niños, y las llamas eran animales muy importantes en su economía porque en esa época no había caballos ni otras bestias de carga".

En el reporte de National Geographic se puede leer que, Haagen Klaus, un antropólogo de la Universidad George Mason, sugiere que las sociedades que ocuparon la costa norte del Perú empezaron a sacrificar niños cuando el sacrificio de adultos no era suficiente para detener las reiteradas alteraciones producidas por el fenómeno climático de El Niño (National Geographic, 2018). Lo cual, reafirma la teoría de que los sacrificios fueron realizados para tratar de detener un Fenómeno El Niño.



## Capítulo 4

### Monitoreo de las condiciones climáticas con registros instrumentales

El registro en las estaciones meteorológicas permite conocer las condiciones climáticas y sus alteraciones en un territorio determinado. Para la caracterización climática terrestre, se trabajó con la temperatura mínima, temperatura media, temperatura máxima del aire y precipitación acumulada, mientras que para la caracterización del mar se trabajó con la temperatura superficial del agua del mar (TSM). Los datos obtenidos de cada variable fueron tratados mediante metodologías explicadas en el Capítulo 1, para su posterior análisis descriptivo, usando principalmente el software R Studio.

#### 4.1 Medición y obtención de parámetros meteorológicos

Para el presente estudio se ha trabajado con información de 9 estaciones meteorológicas ubicadas en el Departamento de Piura, administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y a la Universidad de Piura (UDEP) respectivamente.

##### 4.1.1 Red de estaciones meteorológicas en la provincia de Sechura

Para la selección de las estaciones, se consideró tomar información principalmente de aquellas estaciones meteorológicas ubicadas en la provincia de Sechura SENAMHI cuenta con dos estaciones ubicadas en Bernal y Chusis. La UDEP cuenta con: estación Cerritos y Bayóvar.

Al ser pocas estaciones, se decidió añadir más estaciones meteorológicas cercanas que ayuden a profundizar el estudio. El criterio de selección de estas estaciones fue que se encuentren ubicadas lo más cercano posible a la provincia de Sechura y que sus ambientes presenten características similares a las anteriores estaciones escogidas. Además, debían contar con un periodo de registro con la mayor retrospectiva posible. Así, se añadieron al estudio la estación Miraflores, la estación San Miguel y la estación UDEP.

Los reportes emitidos por estas estaciones tenían datos faltantes, los cuales se debían completar para poder llevar a cabo el estudio. Debido a eso, se seleccionaron estaciones auxiliares cuya función fue ayudar a rellenar la data faltante. El criterio de selección de estas estaciones fue que se encuentren ubicadas lo más cercano posible a las estaciones meteorológicas principales y que sus ambientes presenten características similares a las anteriores estaciones escogidas. Además, debían contar con un periodo de registro similar a

las estaciones principales y con registros completos en aquellos periodos donde faltaban datos para obtener la mayor cantidad de data posible. Así, se añadieron como complemento las estaciones Mallares (Sullana) y La Esperanza (Paita).

Como parte del proyecto, se instaló una estación en Bayóvar para monitorear la temperatura del aire y humedad relativa durante el año 2020. Los criterios que se tuvieron en cuenta para su instalación se explicarán en el apartado 4.3.1. Las estaciones que se han tomado en cuenta para este análisis se muestran en la Tabla 10. Sus respectivas ubicaciones en el mapa se pueden ver en la Figura 62.

**Tabla 10. Estaciones meteorológicas empleadas en el estudio**

Estación	Cod	Cat	Coordenadas		Altitud (msnm)	Ubicación			Entidad
			Latitud	Longitud		Distrito	Provincia	Cuenca	
<b>Estaciones principales (Sechura)</b>									
Bernal		CO	05°27'16.18"	80°44'33"	11	Bernal	Sechura	Piura	SENAMHI
Chusis	231	CO	05°31'39.23"	80°48'45.9"	8	Sechura	Sechura	Piura	SENAMHI
Cerritos		CO	05°29'55.64"	80°43'08.65"	16	Cristo Nos Valga	Sechura	Piura	UDEP
Bayóvar Camp.		CO	05° 47' 55.35"	79° 03' 57.52"	150	Sechura	Sechura	Pacífico	UDEP
<b>Estaciones principales (Piura)</b>									
Miraflores		AU	05°10'31"	80°36'59.55"	34	Piura	Piura	Piura	SENAMHI
San Miguel		CO	05°14'46.33"	80°41'3.69"	24	Catacaos	Piura	Piura	SENAMHI
UDEP			05° 10' 14"	80° 38' 18"	45	Piura	Piura	Piura	UDEP
<b>Estaciones auxiliares (Piura)</b>									
Mallares		CO	4°51'20.67"	80°44'8"	44	Marcavelica	Sullana	Chira	SENAMHI
La Esperanza		CO	04°55'16"09	81°3'34.39"	7	Colán	Paita	Chira	SENAMHI

Nota: Adaptado de página Web SENAMHI y UDEP.

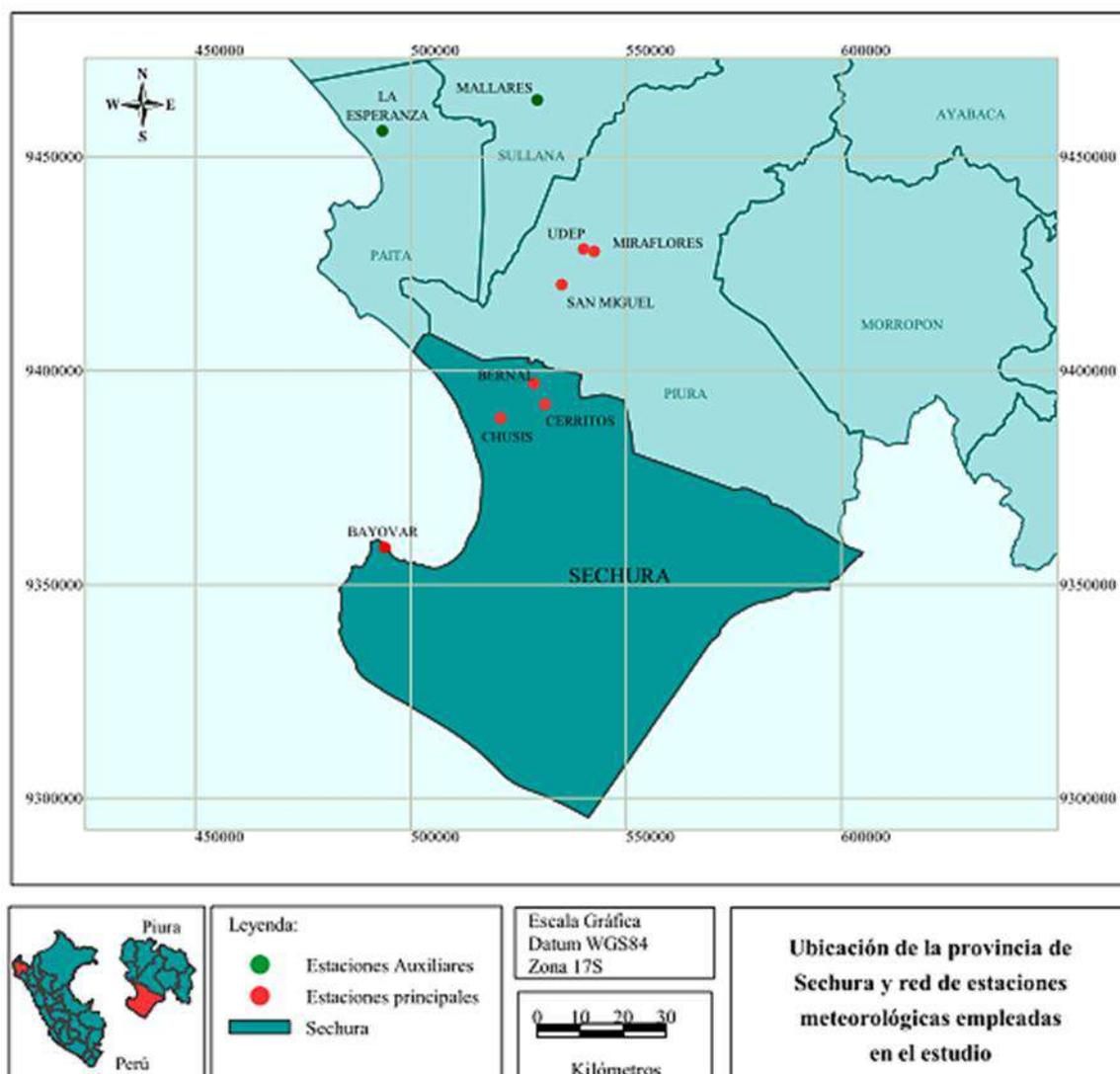


Figura 62. Ubicación de las estaciones meteorológicas de Piura y Sechura

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2 Período de análisis

Para proceder al análisis de la información meteorológica, es necesario determinar un período en común. Según la Organización mundial de meteorología (OMM) (2018), es difícil evaluar cuán largas deben ser las series de datos o cuál es el número de años necesarios para captar las características de la variabilidad según el elemento climático. Sin embargo, se considera que para la mayoría de los elementos climáticos se necesita al menos 10 años de observaciones diarias para así poder elaborar parámetros estadísticos. En el caso de la precipitación, se necesitan al menos 30 años de observaciones (OMM, 2018).

Por ello, se observó la información con la que se cuenta colocando un cuadro resumen, en el cual se puede notar el período de información de cada estación. En la Tabla 11, se

observan las estaciones con las que se ha trabajado, tanto de SENAMHI como UDEP, con sus respectivos periodos y parámetros meteorológicos.

**Tabla 11. Periodo de datos por estación con su respectivo parámetro climático**

Estación	Parámetro climático	Periodo	Número de años
Bernal	Precipitación	1964-2019	56
	Temperatura del aire	2005-2019	15
Chusis	Temperatura del aire	1964-2019	56
	Precipitación		
Miraflores	Temperatura del aire	1971-2019	49
	Precipitación		
San Miguel	Temperatura del aire	1973-2019	47
	Precipitación		
UDEP	Temperatura del aire	1991-2019	29
	Precipitación		
Cerritos	Precipitación	2014-2018 y 2020	5
Bayóvar	Temperatura del aire	2020	1
	Humedad Relativa HR		
	Punto de Rocío		

Nota: Adaptado de página Web SENAMHI y UDEP.

En la Tabla 11, para las estaciones de SENAMHI, Chusis tiene data de precipitación y temperatura máxima y mínima a partir del año 1963. La estación Bernal tiene datos de precipitación desde el año 1963 y data de temperatura máxima y mínima a partir del año 2005. Miraflores y San Miguel desde el año 1971 y 1972 respectivamente. Las estaciones mencionadas presentan data hasta el año 2019.

En las estaciones de UDEP, se encuentra que la estación UDEP presenta data de precipitación y temperatura máxima y mínima a partir de 1991 hasta el 2019. Por otro lado, la estación Cerritos muestra data de precipitación durante los años 2014 – 2018 y 2020. Por

último, la estación Bayóvar muestra data del año 2020 de la temperatura del aire, punto de rocío y humedad relativa.

A partir de estas observaciones se puede notar que solo dos estaciones presentan data de precipitación desde el año 1963 y una en 1971. Estos registros no están completos y no se tendrían suficiente data para estimar datos faltantes. En el caso de la precipitación, se escoge como periodo a trabajar para las estaciones SENAMHI desde el año 1972 - 2019, ya que el objetivo es tener información meteorológica con la mayor retrospectiva posible. En el caso de la temperatura, para la estación Bernal se ampliará y estimará la data faltante dependiendo de la metodología elegida y para el resto de las estaciones se trabajarán desde el año 1991 hasta el 2019. Por otro lado, la estación UDEP será considerada desde el año 1991-2019 tanto para precipitación como temperatura del aire. Para las estaciones con menor cantidad de data como Cerritos y Bayóvar, solo se tomará en cuenta el periodo de años en los que presentan data. Desde el 2014-2018 y 2020 para Bayóvar, ya que la finalidad de estas estaciones es monitorear el clima actual de Sechura y fueron instaladas como parte del marco del proyecto de la presente investigación.

#### **4.1.3 Procesamiento y estimación de datos faltantes**

**4.1.3.1 Recolección de los datos las estaciones seleccionadas.** La data de SENAMHI se obtuvo a través de su página web, para lo cual fue necesario crear una cuenta en dicha página (<https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>) y así poder acceder a la data requerida. Los datos de precipitación y temperatura obtenidos se encontraban en milímetros y grados centígrados respectivamente, y en escala diaria.

En el caso de los datos de UDEP, se obtuvieron directamente de la base de datos de la institución. Los datos de precipitación y temperatura obtenidos se encontraban en milímetros y grados centígrados respectivamente, y en escala mensual.

Ambas datas pasaron a ser ordenadas en el software Excel, donde se revisó la consistencia de las fechas de calendario: número de días por mes y año. Además, se estandarizó los encabezados de las columnas donde se contenían los datos, tales como el año, mes, día y los parámetros climáticos de precipitación y temperatura, los cuales fueron reemplazados por "year", "month", "day", "rain", "temp\_max" y "temp\_min", esto con la finalidad de procesar y trabajar con los registros en el software R Studio. Por último, se revisó que la data estuviera en orden cronológico y se encontró data faltante implícita, es decir las filas de las fechas que no registraban data faltante explícita (como -99.9 o una celda vacía), sino que se encontraban omitidas; estas fechas faltantes fueron agregadas a los registros como celdas vacías para que en el proceso posterior de limpieza sean tomados como datos faltantes explícitos.

**4.1.3.2 Limpieza de datos.** Con los registros estandarizados y sin data faltante implícita, se procedió a la identificación y tratamiento de datos faltantes explícitos (valores

perdidos). Este procedimiento es necesario en las etapas iniciales del análisis para entender cómo están conformados los datos, para su posterior manipulación/imputación.

El software R Studio posee paquetes que ayudan en este tipo de procedimientos de forma ágil y sencilla. El paquete que se empleó fue “*naniar*”, siendo las funciones utilizadas:

- `miss_scan_count()`: permite explorar y buscar diferentes valores de datos faltantes como por ejemplo "N/A", "missing", "na", " ", "-99.9", "T", "S/D", etc.
- `replace_with_na_at()`: permite reemplazar diversas simbologías de valores faltantes explícitos por "NA" en las variables seleccionadas.
- `miss_var_summary()`: permite resumir la cantidad y proporción de datos faltantes en cada variable.
- `vis_miss()`: permite visualizar la proporción de datos faltantes en cada variable en un gráfico.

Con las dos primeras funciones se exploraron las posibles simbologías de valores faltante y se reemplazaron por "NA", ya que es el formato que el programa reconoce.

Luego se procedió a identificar los valores atípicos de los parámetros de precipitaciones y temperaturas del aire de cada estación meteorológica, teniendo como máximos y mínimos valores los límites fijos (como por ejemplo no hay valores de precipitaciones negativas) y los extremos locales de la región de estudio de estas variables.

En el caso de las precipitaciones, se verificó que los datos no sean negativos, y, además, se confrontó la data obtenida con datos históricos de artículos científicos del SENAMHI. Así por ejemplo se tiene que, según Woodman y Takahashi (2014), durante el Niño extraordinario de 1982-83 y 1997-98 la lluvia mensual alcanzó 70 cm en Piura. Por lo cual, en esos años de precipitaciones extremas se tomó el dato de referencia, que los valores más altos de precipitación mensual de las estaciones debían estar cerca de 700 mm. Así también, en la temporada de lluvia de marzo a abril, en un año no Niño, puede llegar a llover aproximadamente 13 mm. Se debe tener en cuenta que la mayor precipitación se suele dar en el mes marzo, y normalmente llega a un acumulado de 32 mm. Según SENAMHI, en Piura en el mes de marzo llueve con mayor intensidad, llegando a un promedio de 66.5 mm (SENAMHI, s.f.). Por último, el periodo más seco se encuentra entre junio y agosto, tal y como se menciona en el apartado 2.1.3.

En el caso de las temperaturas, se encontró que el mínimo valor registrado por el SENAMHI en la costa piurana en los últimos 15 años fue de 8.3°C en la ciudad de Catacaos en el 2011 (ANDINA, 2011) y el máximo valor registrado fue de 39°C por la estación Malacasi, ubicada en el distrito de Salitral, provincia piurana de Morropón en el 2016 (ANDINA, 2020), siendo considerado dicho valor como récord histórico de temperatura diurna para el mes de enero en la región Piura. Se tomaron esos valores como referencia de extremos locales para evaluar que los datos tanto de temperatura mínima, media y máxima sean confiables (39°C > Temperatura del aire >8°C).

Además, se verificó que haya consistencia interna, es decir, que los valores de temperatura mínima sean menores a la temperatura media, y estas, a la temperatura máxima ( $T_{max} > T_{med} > T_{min}$ ); coherencia temporal, es decir, que no haya dos observaciones de temperatura consecutivas ( $T_{min}$ ,  $T_{med}$  y  $T_{max}$ ) con más de 25°C de diferencia; y coherencia espacial, es decir, se comparó visualmente que los valores de cada parámetro a lo largo del tiempo sean parecidos a las obtenidas por las estaciones vecinas (Marzo, 2016).

Con los datos climatológicos limpios, se procedió a cambiar su frecuencia, de diaria a mensual, con la finalidad de tener toda la información en una sola escala y poder realizar la imputación de datos más adelante.

Con los datos mensuales, se evaluó la situación de los datos instrumentales de cada estación meteorológica y se obtuvo el porcentaje de datos mensuales completos durante el periodo elegido, los cuales se observan en la Tabla 12. Como se explicó en el apartado 4.1.2, para las temperaturas se ha considerado el periodo de estudio de 1991 - 2019; y para las precipitaciones de 1972 - 2019, a excepción de la estación UDEP cuyas precipitaciones y temperaturas van de 1991 - 2019, y de la estación Cerritos del cual solo utilizaremos los datos de precipitación durante el periodo 2014 - 2018, con la finalidad de rellenar datos faltantes de las estaciones principales.

**Tabla 12. Proporción de datos mensuales completos (%) de los registros instrumentales**

Estación	T. mínima	T. media	T. máxima	Precipitación
Bernal	40.2	40.2	40.8	85.2
Chusis	88.2	87.4	87.9	77.6
Miraflores	86.5	88.2	87.4	91.5
San Miguel	93.4	93.7	93.7	89.6
UDEP	66.4	77	95.7	100
Cerritos	-	-	-	91.7
Mallares	75.3	75.3	75.6	84
La Esperanza	81.9	81.6	82.2	87.2

Como apoyo para este análisis, también se hizo esta evaluación para cada año, donde se identificaron los meses completos e incompletos, los cuales se observan gráficamente en

el Apéndice 3. En el caso de los meses incompletos, se colocó la cantidad de datos mensuales faltantes. Esto se realizó para cada variable climática según la estación meteorológica.

**4.1.3.3 Estimación de datos faltantes.** Las estaciones seleccionadas no contaban con la data completa, por lo cual se decidió estimar los datos haciendo uso de uno de los métodos mencionados en el apartado 1.4. Las estaciones para las que se estimaron datos fueron: Bernal, Chusis, Miraflores, San Miguel y UDEP.

La reconstrucción de las series climáticas para la precipitación, la temperatura máxima, la temperatura media y la temperatura mínima se hizo con el método de regresión lineal múltiple. Para ello, se utilizaron además de las estaciones en estudio, dos estaciones auxiliares, Mallares y La Esperanza, las cuales ayudarían a estimar los datos faltantes de las estaciones en estudio en el periodo requerido. También, se utilizó a la estación Cerritos para estimar el periodo 2014-2018.

En primer lugar, se evaluó los coeficientes de correlación entre todas las estaciones cercanas (estaciones principales y auxiliares), tal y como se muestra en el Apéndice 4. Luego, se escogió las que mejor se correlacionaron con la estación de estudio, es decir, las que arrojaron un coeficiente de correlación ( $r$ ) mayor a 0.8.

El siguiente paso fue formar distintos modelos para estimar los datos faltantes de una estación. Al ser distintas combinaciones se debió elegir algunos modelos, para ello se tomó en cuenta un  $R^2$  ajustado mayor o igual a 0.7, p-valor menor a 0.05 y que el modelo estimara la mayor cantidad posible de datos, un número de estimaciones al menos 2 veces mayor al número de variables existentes en el modelo. Es así como se llegó a completar más del 95% de los datos faltantes para todos los parámetros en evaluación.

Por ejemplo, la estación Chusis, la data de temperatura mínima tenía incompletos los meses enero, marzo, mayo, junio, agosto y setiembre del año 2015, con el fin de completar los datos se evaluó los coeficientes de correlación con el resto de las estaciones. Con la estación UDEP se obtuvo un  $r$  de 0.889, con Miraflores un  $r$  de 0.924 y con la estación La Esperanza un  $r$  de 0.916 y así se llegó al siguiente modelo:

$$\begin{aligned} Chusis_{ij} = & -2.03572 + 0.28480UDEP_{ij} + 0.43169Miraflores_{ij} \\ & + 0.35531La\ esperanza_{ij} + \varepsilon \end{aligned}$$

Donde:

$Chusis_{ij}$  : Temperatura mínima de la estación Chusis en el mes  $i$  año  $j$

$UDEP_{ij}$  : Temperatura mínima de la estación UDEP en el mes  $i$  año  $j$

$Miraflores_{ij}$  : Temperatura mínima de la estación Miraflores en el mes  $i$  año  $j$

$La\ esperanza_{ij}$ : Temperatura mínima de la estación La Esperanza en el mes  $i$  año  $j$

Este modelo obtuvo un  $R^2$  de 0.9399,  $R^2$ ajustado de 0.9385, un p-valor menor a  $2.2e-16$  y estimaba 10 datos, el cual cumplía con los requisitos para estimar la data faltante.

Se observó que, para la precipitación, los mejores modelos fueron los que tenían de 2 a 3 estaciones. Aquellos modelos que tenían 4 estaciones a más, a pesar de tener un  $R^2$ ajustado alto no lograban estimar una cantidad aceptable, esto porque la ecuación dependía de muchas variables y todas estas deberían estar completas en los periodos requeridos. En el caso de la temperatura máxima, mínima y media si fue posible escoger modelos de 2 a 5 estaciones, puesto que, la data de temperatura se presentaba con menor cantidad de data faltante que la de precipitación.

Por otro lado, después de haber estimado con el método de regresión lineal múltiple se encontró que aún había estaciones con meses de data incompleta, debido a que no se tenía modelos para estimar dichos datos o se sobreestimaban. Para dichos casos se optó por utilizar el método del Promedio aritmético, en donde, si a una estación le faltaba un dato en determinado mes y año, las demás estaciones se promediaron para dicha fecha, obteniendo así el valor faltante. Se debe tener en cuenta que, no se puede hallar el dato faltante a partir del promedio de datos estimados anteriormente. Además, se encontró que, en el caso de la temperatura, el mes de junio del año 2016 y junio del año 2017 no contaban con data a excepción de la estación UDEP. Para ello se optó por calcularlos a través del método de regresión lineal simple, entre la estación con dato incompleto y la estación UDEP. Por ejemplo, para la temperatura media del aire del año 2017 en el mes de junio de la estación Chusis, el modelo utilizado es el siguiente:

$$Chusis_{ij} = 2.53 + 0.9184 * UDEP_{ij}$$

Donde:

$Chusis_{ij}$  : Temperatura mínima de la estación Chusis en el mes  $i$  año  $j$

$UDEP_{ij}$  : Temperatura mínima de la estación UDEP en el mes  $i$  año  $j$

Se obtuvo un p-valor menor a  $2.2e-16$ ,  $R^2$  de 0.9462 y un  $R^2$ ajustado de 0.9459

Este proceso se repitió para las temperaturas máximas, medias y mínimas del resto de estaciones en los años 2016 y 2017, en donde el p-valor los valores de  $R^2$  y  $R^2$  ajustado fueron mayores a 0.7.

Cabe resaltar que a estas series climáticas reconstruidas se les volvió a realizar una limpieza de datos para detectar posibles valores atípicos.

#### **4.1.4 Análisis exploratorio**

Con las series históricas de la temperatura mínima, temperatura media, temperatura máxima y precipitación acumulada disponibles y rellenadas, se procedió a su análisis con la finalidad de obtener información sobre:

- **Caracterización climática:** Para ello se analizó el comportamiento mensual y estacional de las variables climáticas en un ciclo anual.
- **Comportamiento de las precipitaciones durante eventos FEN:** Para ello se analizó el comportamiento de las precipitaciones acumuladas mensuales durante los últimos eventos Niño más representativos, tomando en cuenta el año hidrológico.
- **Tendencias climáticas:** Para ello se analizó el comportamiento de las variables climáticas y sus anomalías a lo largo del tiempo.

A continuación, se presentarán cada uno de los análisis:

**4.1.4.1 Análisis del comportamiento mensual y estacional de la temperatura mínima, temperatura media, temperatura máxima y precipitación acumulada.** Para el estudio del comportamiento mensual de las variables climáticas en un ciclo anual, se aplicaron dos herramientas gráficas: climogramas, para presentar los valores promedios mensuales de las variables climáticas en un mismo gráfico y estudiar el clima del lugar; y boxplots, para visualizar de mejor manera la distribución de los datos, los casos extremos y atípicos de cada parámetro.

Además, se estudió el comportamiento estacional promedio considerando los meses de enero, febrero y marzo como meses de verano; los meses de abril, mayo y junio como meses de otoño; los meses de julio, agosto y setiembre como meses de invierno; y los meses de octubre, noviembre y diciembre como meses de primavera.

En este análisis se trabajó con un periodo de años en el que tanto las series históricas de temperatura y precipitación se encuentren completas. Dicho periodo fue de 29 años, de 1991 hasta 2019.

- **Climogramas y Boxplot de la Estación Bernal**

En la Tabla 13 se muestran los valores promedios mensuales de temperatura y de precipitación obtenidos de las series históricas de la estación meteorológica Bernal, los cuales sintetizan las principales características del clima.

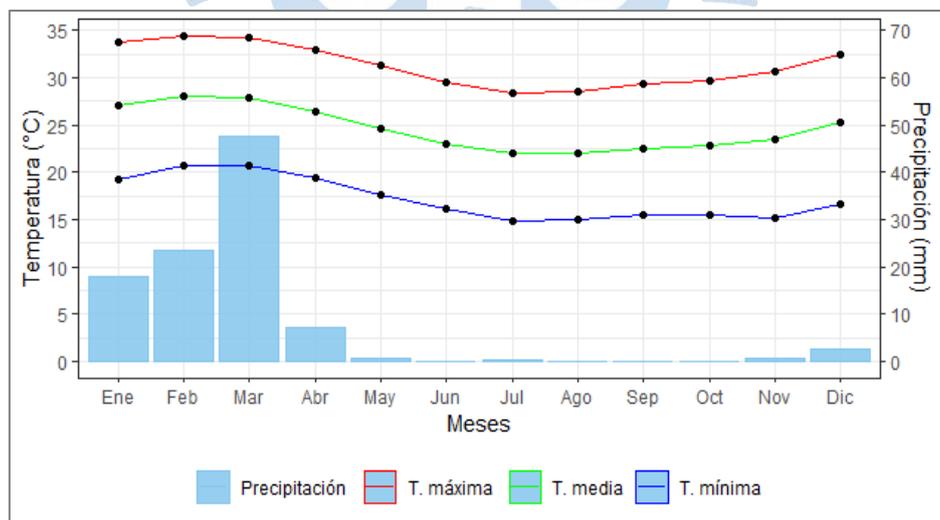
**Tabla 13. Promedios mensuales para elaboración del climograma de la estación Bernal (1991-2019)**

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T. mínima	19.23	20.73	20.79	19.33	17.60	16.16	14.84	14.97	15.42	15.46	15.11	16.61
T. media	27.01	28.06	27.84	26.44	24.63	23.04	22.07	22.00	22.43	22.87	23.53	25.22
T. máxima	33.73	34.44	34.27	32.97	31.34	29.45	28.41	28.58	29.38	29.71	30.66	32.36
Precipitación	17.9	23.4	47.5	7.3	0.6	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.7	2.6

El gráfico del climograma obtenido se muestra en la Figura 63. Se visualiza que los datos de las temperaturas corresponden al hemisferio sur ya que la línea de temperaturas es más alta por los laterales que por el centro. El valor más alto de temperatura máxima fue de 34.44°C en el mes de febrero y el valor más bajo de temperatura mínima fue de 14.84°C en el mes de julio. La temperatura media es de 24.59°C, siendo los meses que están por encima de la media: enero, febrero, marzo, abril, mayo y diciembre, y los meses cuyo valor está por debajo: junio, julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre. La amplitud térmica anual es de 6.06°C que corresponde a una oscilación baja. El tipo de clima según la temperatura es cálido ya que la temperatura media que supera los 21°C.

Con respecto a la precipitación acumulada, el máximo valor fue de 47.5 mm en el mes de marzo y el mínimo valor fue de 0.1 mm en los meses de agosto y setiembre. Existe agrupaciones de meses con precipitación pluvial parecidas, siendo los meses que presentan más lluvia: enero, febrero, marzo, abril y diciembre, y los meses más secos: mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre. Según el criterio de Gausson, existe periodo de aridez en todos los meses debido a que el gráfico de barras de precipitaciones está por debajo de la línea de temperatura media. La precipitación anual fue de 100.8 mm, por eso el tipo de clima según la precipitación se considera muy seco ya que el total de precipitaciones es inferior a 300 mm anuales.

Así se determina que el clima del distrito de Bernal de la provincia de Sechura es un clima Cálido Muy Seco, también llamado como Desértico o Árido Tropical.



**Figura 63. Climograma de la estación Bernal (1991-2019)**

Fuente: Elaboración propia.

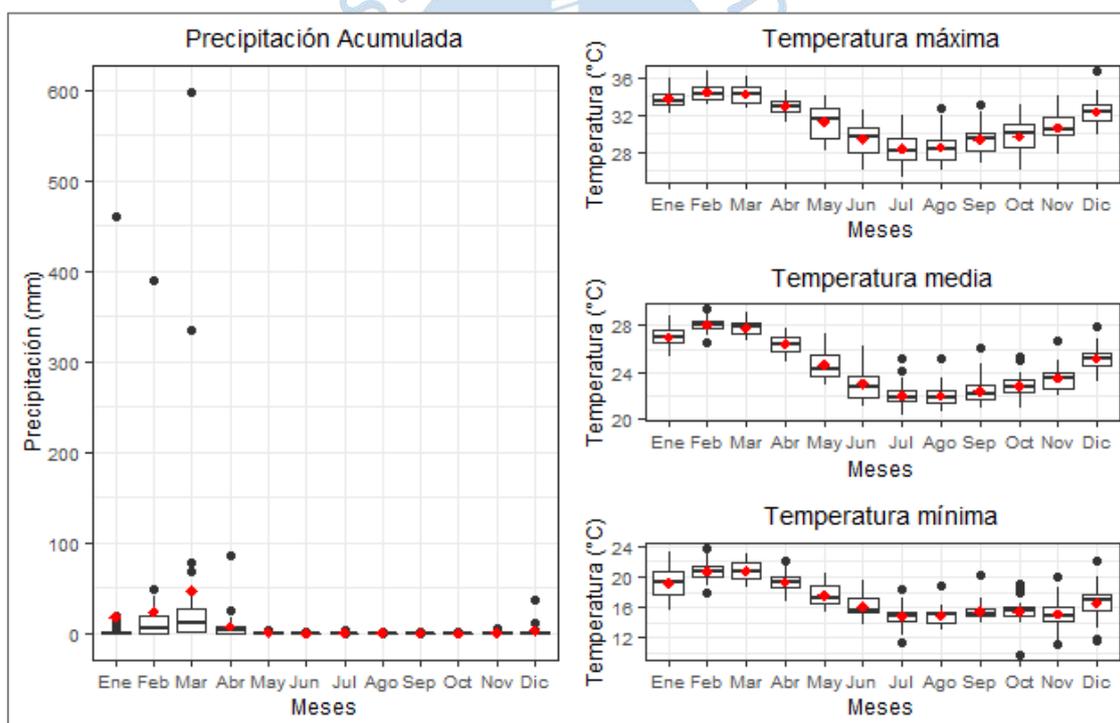
La Tabla 14 muestra los estadísticos descriptivos relevantes obtenidos de las series históricas de la estación meteorológica Bernal, lo cual ayudará a conocer mejor el comportamiento de cada parámetro según el mes del año.

**Tabla 14. Estadísticos descriptivos por mes de la estación Bernal (1991-2019)**

Parámetro	E. desc.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
N° observ.	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
T. mínima	Min	15.69	17.90	18.50	16.70	15.40	13.72	11.40	13.14	13.95	9.80	11.20	11.60
	Q1	17.71	20.00	19.80	18.56	16.40	15.30	14.11	14.07	14.80	14.90	14.11	15.50
	Mediana	19.36	20.70	20.67	19.40	17.30	15.65	14.91	15.01	15.02	15.50	14.98	16.96
	Q3	20.58	21.31	21.75	19.88	18.80	17.12	15.40	15.45	15.93	16.00	16.00	17.76
	Max	23.16	23.78	22.94	21.99	20.40	19.56	18.44	18.88	20.19	19.02	20.00	21.97
	RIC	2.87	1.31	1.95	1.33	2.40	1.82	1.29	1.38	1.12	1.10	1.89	2.26
T. media	Min	25.38	26.61	26.78	24.81	22.91	21.08	20.28	20.72	20.92	21.00	21.98	23.19
	Q1	26.56	27.72	27.26	25.80	23.73	21.94	21.54	21.42	21.67	22.32	22.69	24.59
	Mediana	27.07	28.06	27.84	26.38	24.32	22.70	21.79	21.84	22.23	22.75	23.60	25.21
	Q3	27.55	28.34	28.26	26.99	25.46	23.67	22.50	22.40	22.90	23.31	24.02	25.70
	Max	28.78	29.40	29.12	27.69	27.29	26.19	25.22	25.12	26.11	25.41	26.73	27.92
	RIC	0.99	0.62	1.00	1.19	1.73	1.73	0.96	0.98	1.23	0.99	1.34	1.11
T. máxima	Min	32.14	33.13	32.72	31.22	28.20	26.05	25.33	26.09	26.76	26.18	27.75	29.83
	Q1	33.19	33.72	33.32	32.27	29.57	27.91	27.15	27.31	28.21	28.60	29.85	31.45
	Mediana	33.52	34.34	34.25	32.96	31.57	29.64	28.18	28.37	29.42	30.02	30.56	32.41
	Q3	34.33	34.99	35.07	33.59	32.67	30.62	29.47	29.38	30.12	31.06	31.76	33.14
	Max	35.90	36.74	36.20	34.64	34.03	32.51	32.04	32.69	33.20	33.04	34.15	36.79
	RIC	1.14	1.27	1.75	1.32	3.10	2.70	2.33	2.08	1.91	2.46	1.91	1.68
Precipitación	Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Q1	0.0	0.1	2.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Mediana	0.4	4.8	11.8	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
	Q3	1.8	18.6	26.6	7.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	1.5
	Max	459.1	389.8	597.2	85.3	3.5	1.4	3.5	1.5	0.5	1.1	4.8	36.5

	RIC	1.8	18.5	24.6	6.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	1.5
--	-----	-----	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

El gráfico del boxplot mensual obtenido se muestra en la Figura 64. Se visualiza en el gráfico de precipitaciones acumuladas eventos extremos atípicos ocurridos mayormente en los meses de enero, febrero y marzo, con valores máximos de 459.1 mm, 389.9 mm, 597.2 mm, respectivamente. En el gráfico de temperatura máxima se puede visualizar que hay una baja cantidad de eventos atípicos, solo los meses de agosto, setiembre y diciembre cuentan con atípicos por encima de la media, siendo los valores máximos 32.69°C, 33.20°C, y 36.79°C, respectivamente. En el gráfico de temperatura mínima se puede visualizar que hay mayor número de atípicos. Los meses que cuentan con atípicos por debajo de la media son febrero, julio, octubre, noviembre y diciembre, siendo los valores mínimos 17.90°C, 11.40°C, 9.80°C, 11.20°C y 11.60°C, respectivamente. En el gráfico de temperatura media se puede visualizar que los meses que suelen presentar valores atípicos son febrero, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre.



**Figura 64. Boxplot mensual de la estación Bernal (1991-2019)**

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 15 se muestran los valores promedios de temperatura y de precipitación agrupados por época estacional. Estos valores se obtuvieron al promediar los valores obtenidos en la Tabla 13 del climograma de la estación Bernal. Se observa que durante el verano la temperatura máxima promedio es de 34.15 °C y durante el invierno la temperatura

mínima promedio es 15.08 °C. Además, la estación donde se producen más precipitaciones es en verano y la estación más seca es el invierno.

**Tabla 15. Promedios por estaciones del año de la estación Bernal (1991-2019)**

Estación	T. mínima	T. media	T. máxima	Precipitación
Verano	20.25	27.64	34.15	29.6
Otoño	17.70	24.70	31.26	2.7
Invierno	15.08	22.17	28.79	0.1
Primavera	15.73	23.87	30.91	1.2

- **Climogramas y Boxplot de la Estación Chusis**

En la Tabla 16 se muestran los valores promedios mensuales de temperatura y de precipitación obtenidos de las series históricas de la estación meteorológica Chusis, los cuales sintetizan las principales características del clima.

**Tabla 16. Promedios mensuales para elaboración del climograma de la estación Chusis (1991-2019)**

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T. mínima	19.18	20.71	20.75	19.30	17.46	15.86	14.69	14.89	15.13	14.94	14.69	16.35
T. media	26.71	27.80	27.65	26.39	24.59	22.81	21.76	21.57	22.01	22.37	23.05	24.80
T. máxima	31.98	32.98	32.83	31.80	29.71	27.59	26.36	26.33	27.22	27.45	28.59	30.38
Precipitación	19.1	19.2	41.8	6.7	0.7	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.5	3.2

El gráfico del climograma obtenido se muestra en la Figura 65. Se visualiza que los datos de las temperaturas corresponden al hemisferio sur ya que la línea de temperaturas es más alta por los laterales que por el centro. El valor más alto de temperatura máxima fue de 32.98°C en el mes de febrero y el valor más bajo de temperatura mínima fue de 14.69°C en el mes de julio. La temperatura media es de 24.29°C, siendo los meses que están por encima de la media: enero, febrero, marzo, abril, mayo y diciembre, y los meses cuyo valor está por debajo: junio, julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre. La amplitud térmica anual es de 6.23°C que corresponde a una oscilación baja. El tipo de clima según la temperatura es cálido ya que la temperatura media que supera los 21°C.

Con respecto a la precipitación acumulada, el máximo valor fue de 41.8 mm en el mes de marzo y el mínimo valor fue de 0.0 mm en los meses de agosto y setiembre. Existe

agrupaciones de meses con precipitación pluvial parecidas, siendo los meses que presentan más lluvia: enero, febrero, marzo, abril y diciembre, y los meses más secos: mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre. Según el criterio de Gausson, existe periodo de aridez en todos los meses debido a que el gráfico de barras de precipitaciones está por debajo de la línea de temperatura media. La precipitación anual fue de 91.6 mm, por eso el tipo de clima según la precipitación se considera muy seco ya que el total de precipitaciones es inferior a 300 mm anuales.

Así se determina que el clima del distrito de Chusis de la provincia de Sechura es un clima Cálido Muy Seco, también llamado como Desértico o Árido Tropical.

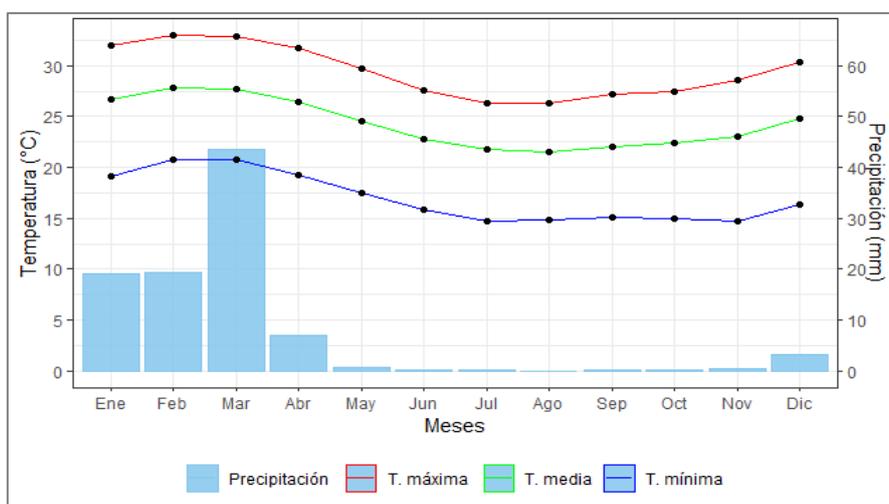


Figura 65. Climograma de la estación Chusis (1991-2019)

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 17 muestra los estadísticos descriptivos relevantes obtenidos de las series históricas de la estación meteorológica Chusis, lo cual ayudará a conocer mejor el comportamiento de cada parámetro según el mes del año.

Tabla 17. Estadísticos descriptivos por mes de la estación Chusis (1991-2019)

Parámetro	E. desc.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
N° observ.	n	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
T. mínima	Min	15.60	18.20	17.40	17.20	13.80	13.60	11.60	12.60	13.20	8.0	10.40	11.00
	Q1	18.00	19.21	19.80	18.40	16.40	14.80	13.80	14.20	14.20	13.80	13.60	15.00
	Mediana	19.41	20.80	20.60	19.20	17.20	15.40	14.80	14.66	15.00	15.00	14.60	16.60
	Q3	20.00	21.54	21.80	20.00	18.76	16.34	15.48	15.20	15.60	15.80	15.80	17.57

	Max	23.60	24.20	23.20	22.40	21.00	19.80	18.60	18.80	20.20	19.00	20.00	22.00
	RIC	2.00	2.33	2.00	1.60	2.36	1.54	1.68	1.00	1.40	2.00	2.20	2.57
T. media	Min	25.13	26.41	26.36	24.72	22.88	20.80	19.94	20.31	20.51	20.24	21.45	23.25
	Q1	26.22	27.42	26.98	25.94	23.63	21.99	21.11	21.06	21.35	21.93	22.18	24.07
	Mediana	26.53	27.76	27.70	26.17	24.09	22.43	21.50	21.43	21.93	22.28	23.08	24.78
	Q3	27.42	28.15	28.06	26.96	25.59	23.75	21.97	21.97	22.32	22.80	23.52	25.22
	Max	28.47	29.08	28.90	28.02	27.18	25.69	25.09	24.81	25.86	25.40	26.69	28.15
	RIC	1.20	0.73	1.08	1.03	1.95	1.76	0.86	0.91	0.97	0.88	1.34	1.15
T. máxima	Min	29.74	30.36	31.03	30.03	27.02	24.13	24.19	24.26	24.96	25.17	26.80	28.22
	Q1	31.26	32.28	32.17	31.27	28.87	26.22	25.79	25.43	26.21	26.84	27.61	29.74
	Mediana	31.90	32.80	32.75	31.52	29.15	27.05	25.97	25.82	26.79	27.10	28.27	30.03
	Q3	32.68	33.34	33.10	32.30	30.55	28.79	26.49	26.52	27.35	27.66	28.77	30.88
	Max	34.42	36.11	35.63	34.32	33.19	33.15	31.40	32.08	32.65	30.66	32.10	34.83
	RIC	1.41	1.06	0.93	1.03	1.68	2.57	0.70	1.09	1.15	0.83	1.16	1.15
Precipitación	Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Q1	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Mediana	0.5	2.4	6.1	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
	Q3	1.9	23.2	24.8	7.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.5
	Max	500.9	272.3	610.3	66.9	3.2	1.2	2.0	0.1	1.0	2.0	5.4	42.2
	RIC	1.9	23.0	24.5	7.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.5

El gráfico del boxplot mensual obtenido se muestra en la Figura 66. Se visualiza en el gráfico de precipitaciones acumuladas eventos extremos atípicos ocurridos mayormente en los meses de enero, febrero y marzo, con valores máximos de 500.9 mm, 272.3 mm y 610.3 mm, respectivamente. En el gráfico de temperatura máxima se puede visualizar que hay muchos atípicos. Los meses que cuentan con atípicos por encima de la media son febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre, siendo los valores máximos 36.11 °C, 35.63°C, 34.32°C, 33.19°C, 33.15°C, 31.40 °C, 32.08°C, 32.65°C, 30.66°C, 32.10°C y 34.83°C, respectivamente. En el gráfico de temperatura mínima se puede visualizar que hay menor número de atípicos. Los meses que cuentan con atípicos por debajo de la media son agosto, octubre y diciembre, siendo los valores mínimos 12.60°C, 8.00°C y 11.00°C, respectivamente. En el gráfico de temperatura media se puede visualizar que los

meses que suelen presentar valores atípicos son julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre.

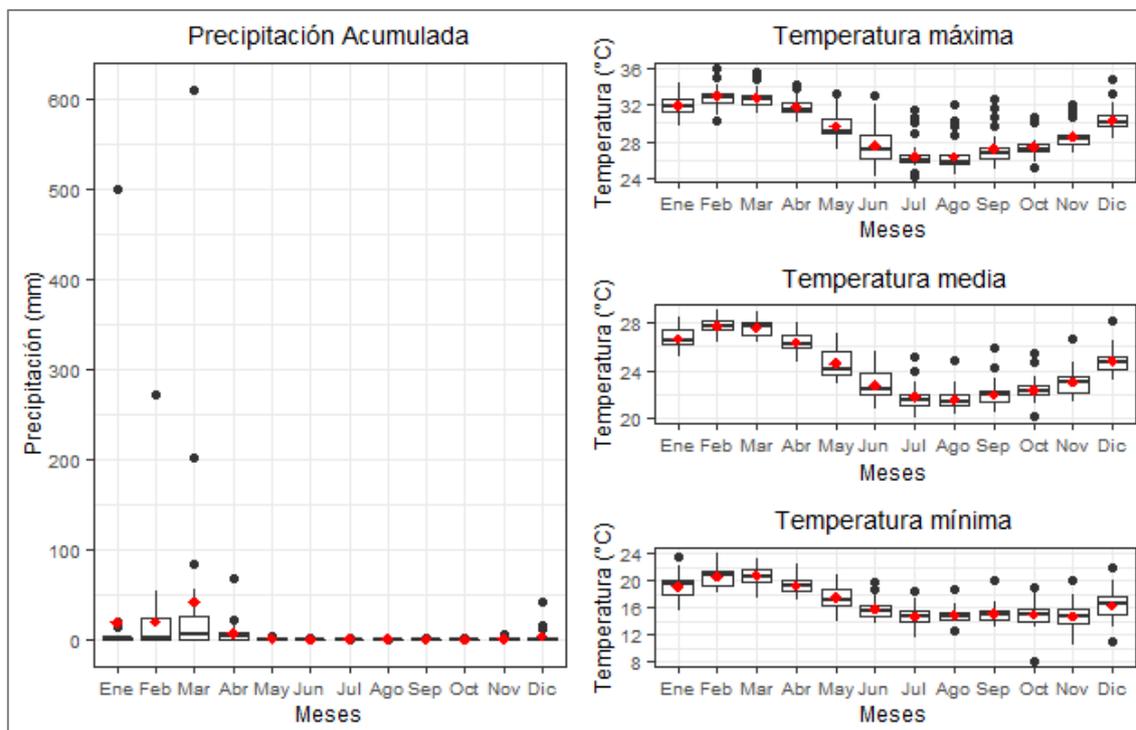


Figura 66. Boxplot mensual de la estación Chusis (1991-2019)

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 18 se muestran los valores promedios de temperatura y de precipitación agrupados por época estacional. Estos valores se obtuvieron al promediar los valores obtenidos en la

Tabla 16 del climograma de la estación Chusis. Se observa que durante el verano la temperatura máxima promedio es de 32.60 °C y durante el invierno la temperatura mínima promedio es 14.90 °C. Además, la estación donde se producen más precipitaciones es en verano y la estación más seca es el invierno.

Tabla 18. Promedios por estaciones del año de la estación Chusis (1991-2019)

Estación	T. mínima	T. media	T. máxima	Precipitación
Verano	20.21	27.38	32.60	26.7
Otoño	17.54	24.60	29.70	2.5
Invierno	14.90	21.78	26.63	0.1
Primavera	15.33	23.41	28.81	1.3

- **Climogramas y Boxplot de la Estación Miraflores**

En la Tabla 19 se muestran los valores promedios mensuales de temperatura y de precipitación obtenidos de las series históricas de la estación meteorológica Miraflores, los cuales sintetizan las principales características del clima:

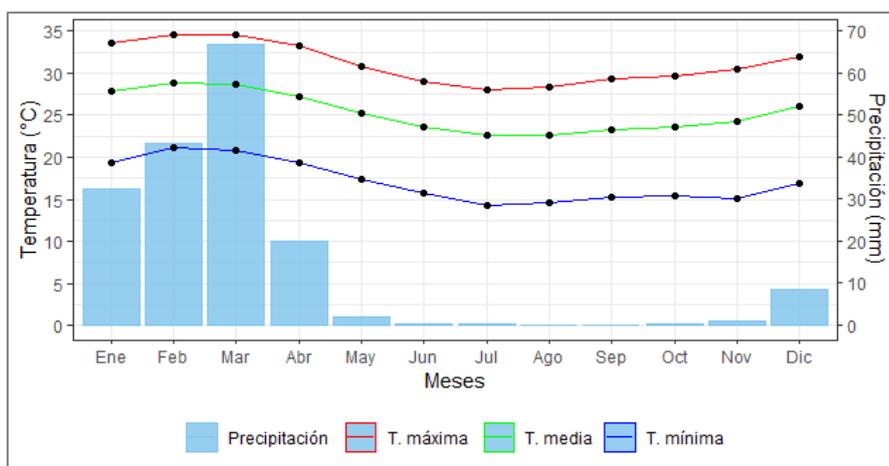
**Tabla 19. Promedios mensuales para elaboración del climograma de la estación Miraflores (1991-2019)**

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T. mínima	19.34	21.11	20.90	19.41	17.32	15.76	14.32	14.60	15.29	15.40	15.08	16.94
T. media	27.82	28.84	28.71	27.20	25.23	23.56	22.66	22.68	23.25	23.67	24.30	26.04
T. máxima	33.64	34.52	34.63	33.29	30.79	29.09	28.01	28.29	29.31	29.68	30.54	31.91
Precipitación	32.4	43.1	66.9	20.1	2.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.5	0.9	8.6

El gráfico del climograma obtenido se muestra en la Figura 67. Se visualiza que los datos de las temperaturas corresponden al hemisferio sur ya que la línea de temperaturas es más alta por los laterales que por el centro. El valor más alto de temperatura máxima fue de 34.63°C en el mes de marzo y el valor más bajo de temperatura mínima fue de 14.32°C en el mes de julio. La temperatura media es de 25.33°C, siendo los meses que están por encima de la media: enero, febrero, marzo, abril y diciembre, y los meses cuyo valor está por debajo: mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre. La amplitud térmica anual es de 6.18°C que corresponde a una oscilación baja. El tipo de clima según la temperatura es cálido ya que la temperatura media que supera los 21°C.

Con respecto a la precipitación acumulada, el máximo valor fue de 66.9 mm en el mes de marzo y el mínimo valor fue de 0.0 mm en el mes de agosto. Existe agrupaciones de meses con precipitación pluvial parecidas, siendo los meses que presentan más lluvia: enero, febrero, marzo, abril y diciembre, y los meses más secos: mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre. Según el criterio de Gaussen, existe periodo de aridez en todos los meses, a excepción de marzo, debido a que el gráfico de barras de precipitaciones está por debajo de la línea de temperatura media. La precipitación anual fue de 175 mm, por eso el tipo de clima según la precipitación se considera muy seco ya que el total de precipitaciones es inferior a 300 mm anuales.

Así se determina que el clima del distrito de Miraflores de la provincia de Piura es un clima Cálido Muy Seco, también llamado como Desértico o Árido Tropical.



**Figura 67. Climograma de la estación Miraflores (1991-2019)**

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 20 muestra los estadísticos descriptivos relevantes obtenidos de las series históricas de la estación meteorológica Miraflores, lo cual ayudará a conocer mejor el comportamiento de cada parámetro según el mes del año.

**Tabla 20. Estadísticos descriptivos por mes de la estación Miraflores (1991-2019)**

Parámetro	E. desc.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
N° observ.	n	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
T. mínima	Min	15.00	18.00	18.60	16.80	14.60	12.60	10.80	12.40	13.80	11.00	11.80	11.80
	Q1	18.00	20.20	20.00	18.80	15.60	14.89	13.20	13.60	14.60	14.40	13.60	15.80
	Mediana	19.80	21.20	20.80	19.20	17.04	15.60	14.00	14.40	14.88	15.21	15.00	16.80
	Q3	20.40	22.00	22.00	20.60	18.80	16.41	15.80	15.20	15.80	16.40	16.00	18.00
	Max	23.00	23.80	23.41	21.70	20.68	19.00	17.80	19.00	20.40	19.00	20.20	22.60
	RIC	2.40	1.80	2.00	1.80	3.20	1.52	2.60	1.60	1.20	2.00	2.40	2.20
T. media	Min	26.43	28.03	27.71	25.50	23.44	21.50	20.93	21.76	21.93	22.02	22.49	24.50
	Q1	27.35	28.51	28.24	26.84	24.10	22.73	22.08	22.15	22.62	23.27	23.48	25.40
	Mediana	27.76	28.77	28.74	27.20	25.00	23.14	22.49	22.46	23.10	23.67	24.43	25.91
	Q3	28.35	29.19	29.04	27.71	26.05	24.52	23.19	22.84	23.55	24.07	24.85	26.56
	Max	29.40	30.04	29.87	28.44	28.05	26.82	26.24	26.29	27.34	26.55	27.74	28.86
	RIC	1.00	0.69	0.80	0.86	1.94	1.79	1.12	0.69	0.93	0.80	1.38	1.16
T. máxima	Min	32.43	32.55	32.97	31.29	28.35	25.50	25.85	26.70	27.67	27.74	28.71	30.48

	Q1	33.06	33.91	34.14	32.54	29.90	27.55	27.12	27.44	28.34	28.88	29.39	31.34
	Mediana	33.50	34.45	34.44	32.93	30.46	28.64	27.65	27.85	29.01	29.62	30.37	31.76
	Q3	33.99	34.86	34.95	34.11	31.77	30.19	28.45	28.31	29.56	30.10	31.09	32.43
	Max	36.25	37.12	37.52	36.04	33.53	34.99	32.75	34.05	33.74	32.63	33.74	33.41
	RIC	0.94	0.95	0.81	1.57	1.87	2.65	1.33	0.87	1.22	1.21	1.69	1.10
Precipitación	Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Q1	0.8	1.8	1.6	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Mediana	2.2	10.9	18.0	5.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	1.4
	Q3	5.7	33.6	54.1	18.5	3.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	4.0
	Max	768.7	500.0	498.8	136.7	12.5	1.4	3.6	0.2	1.1	2.5	6.2	165.0
	RIC	4.9	31.8	52.5	17.4	3.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	4.0

El gráfico del boxplot mensual obtenido se muestra en la Figura 68. Se visualiza en el gráfico de precipitaciones acumuladas eventos extremos atípicos ocurridos mayormente en los meses de enero, febrero, marzo, abril y diciembre con valores máximos de 768.7 mm, 500.0 mm, 498.8 mm, 136.7 mm, y 165.0 mm, respectivamente. En el gráfico de temperatura máxima se puede visualizar que hay muchos atípicos. Los meses que cuentan con atípicos por encima de la media son febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre, siendo los valores máximos 36.25°C, 37.12°C, 37.52°C, 34.99°C, 32.75°C, 34.05°C, 33.74°C, 32.63°C, 33.74°C y 33.74°C, respectivamente. En el gráfico de temperatura mínima se puede visualizar que hay menor número de atípicos. Los meses que cuentan con atípicos por debajo de la media son agosto, octubre y diciembre, siendo los valores mínimos 12.60°C, 11.00°C y 11.80°C, respectivamente. En el gráfico de temperatura media se puede visualizar que los meses que suelen presentar valores atípicos son abril, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre.

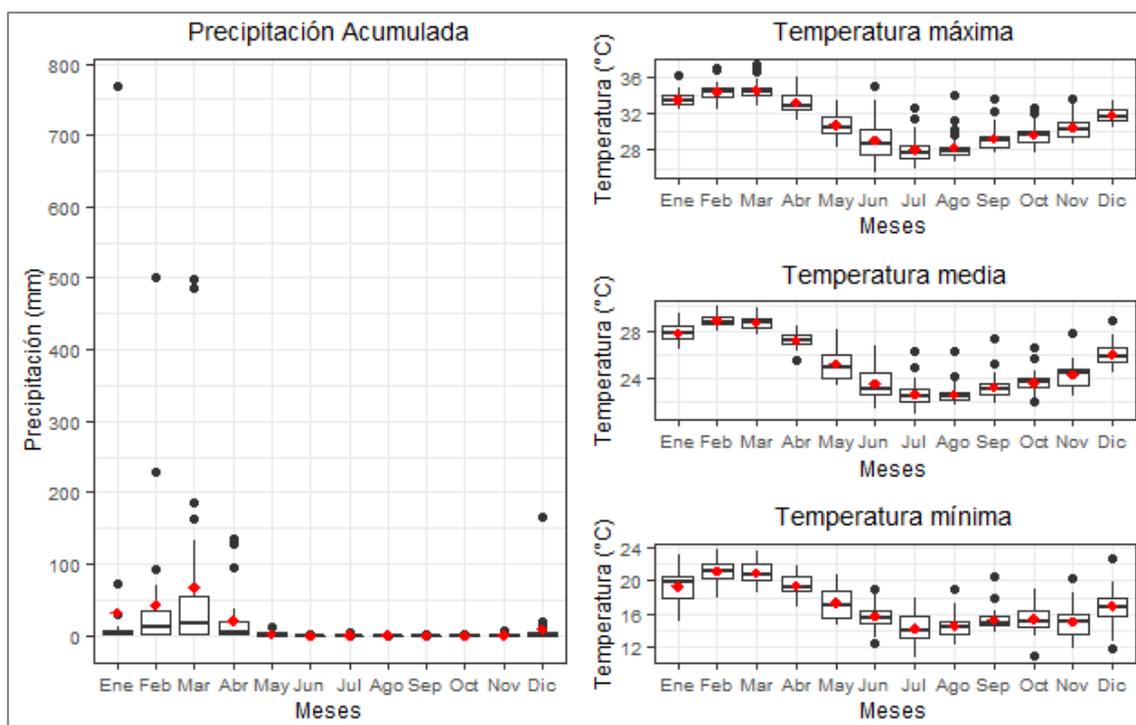


Figura 68. Boxplot mensual de la estación Miraflores (1991-2019)

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 21 se muestran los valores promedios de temperatura y de precipitación agrupados por época estacional. Estos valores se obtuvieron al promediar los valores obtenidos en la Tabla 19 del climograma de la estación Miraflores. Se observa que durante el verano la temperatura máxima promedio es de 34.27 °C y durante el invierno la temperatura mínima promedio es 14.74 °C. Además, la estación donde se producen más precipitaciones es en verano y la estación más seca es el invierno.

Tabla 21. Promedios por estaciones del año de la estación Miraflores (1991-2019)

Estación	T. mínima	T. media	T. máxima	Precipitación
Verano	20.45	28.46	34.27	47.5
Otoño	17.49	25.33	31.06	7.4
Invierno	14.74	22.86	28.53	0.1
Primavera	15.81	24.67	30.71	3.3

- **Climogramas y Boxplot de la Estación San Miguel**

En la Tabla 22 se muestran los valores promedios mensuales de temperatura y de precipitación obtenidos de las series históricas de la estación meteorológica San Miguel, los cuales sintetizan las principales características del clima:

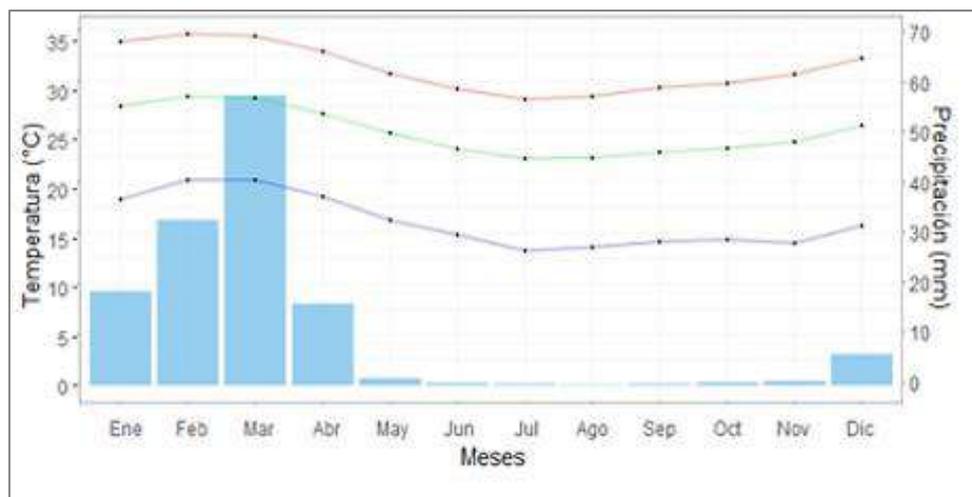
**Tabla 22. Promedios mensuales para elaboración del climograma de la estación San Miguel (1991-2019)**

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T. mínima	18.30	20.21	20.21	18.60	16.26	14.85	13.28	13.62	14.15	14.32	13.99	15.74
T. media	27.49	28.48	28.33	26.78	24.85	23.26	22.34	22.39	22.92	23.38	23.96	25.62
T. máxima	33.89	34.58	34.42	32.93	30.70	29.19	28.18	28.45	29.33	29.80	30.65	32.22
Precipitación	18.5	32.6	57	16.1	1.3	0.3	0.2	0.1	0.2	0.5	0.7	6.0

El gráfico del climograma obtenido se muestra en la Figura 69. Se visualiza que los datos de las temperaturas corresponden al hemisferio sur ya que la línea de temperaturas es más alta por los laterales que por el centro. El valor más alto de temperatura máxima fue de 34.58°C en el mes de febrero y el valor más bajo de temperatura mínima fue de 13.28°C en el mes de julio. La temperatura media es de 24.98°C, siendo los meses que están por encima de la media: enero, febrero, marzo, abril y diciembre, y los meses cuyo valor está por debajo: mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre. La amplitud térmica anual es de 6.14°C que corresponde a una oscilación baja. El tipo de clima según la temperatura es cálido ya que la temperatura media que supera los 21°C.

Con respecto a la precipitación acumulada, el máximo valor fue de 57.0 mm en el mes de marzo y el mínimo valor fue de 0.1 mm en el mes de agosto. Existe agrupaciones de meses con precipitación pluvial parecidas, siendo los meses que presentan más lluvia: enero, febrero, marzo, abril y diciembre, y los meses más secos: mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre. Según el criterio de Gaussen, existe periodo de aridez en todos los meses, a excepción de marzo, debido a que el gráfico de barras de precipitaciones está por debajo de la línea de temperatura media. La precipitación anual fue de 133.5 mm, por eso el tipo de clima según la precipitación se considera muy seco ya que el total de precipitaciones es inferior a 300 mm anuales.

Así se determina que el clima del distrito de San Miguel de la provincia de Piura es un clima Cálido Muy Seco, también llamado como Desértico o Árido Tropical.



**Figura 69. Climograma de la estación San Miguel (1991-2019)**

Fuente: Elaboración propia.

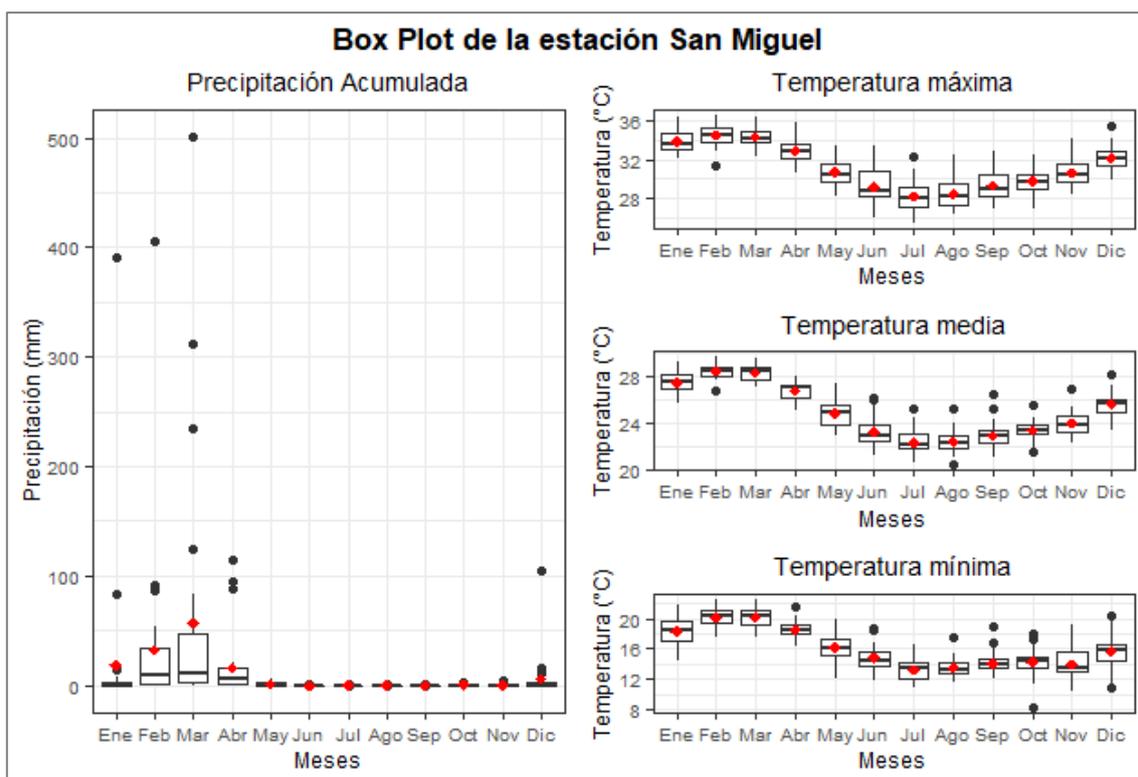
La Tabla 23 muestra los estadísticos descriptivos relevantes obtenidos de las series históricas de la estación meteorológica San Miguel, lo cual ayudará a conocer mejor el comportamiento de cada parámetro según el mes del año.

**Tabla 23. Estadísticos descriptivos por mes de la estación San Miguel (1991-2019)**

Parámetro	E. desc.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
N° observ.	n	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
T. mínima	Min	14.40	17.60	17.50	16.30	12.20	11.90	11.00	11.60	12.00	8.3	10.40	10.90
	Q1	17.00	19.40	19.20	18.00	15.20	13.70	12.00	12.90	13.40	13.50	13.00	14.50
	Mediana	18.50	20.40	20.40	18.60	16.20	14.50	13.40	13.30	14.00	14.50	13.50	15.80
	Q3	19.60	21.20	21.20	19.20	17.40	15.60	14.30	14.10	14.60	15.00	15.60	16.65
	Max	21.70	22.50	22.60	21.50	20.00	18.65	16.50	17.50	19.00	18.10	19.30	20.40
	RIC	2.60	1.80	2.00	1.20	2.20	1.90	2.30	1.20	1.20	1.50	2.60	2.15
T. media	Min	25.65	26.74	27.05	25.10	22.85	21.19	20.57	20.35	21.01	21.51	22.29	23.30
	Q1	26.87	28.08	27.69	26.11	23.83	22.38	21.82	21.86	22.23	22.98	23.18	24.90
	Mediana	27.54	28.46	28.41	27.02	24.90	22.91	22.18	22.26	22.93	23.29	23.84	25.74
	Q3	28.09	28.83	28.75	27.26	25.55	23.77	23.00	22.86	23.29	23.89	24.59	26.04
	Max	29.18	29.68	29.52	28.03	27.44	26.15	25.20	25.24	26.39	25.59	26.89	28.11
	RIC	1.22	0.75	1.06	1.15	1.72	1.39	1.18	1.01	1.06	0.91	1.41	1.14

T. máxima	Min	32.14	31.44	32.27	30.70	28.23	25.90	25.40	26.33	26.81	26.95	28.32	29.97
	Q1	33.06	33.91	33.75	32.07	29.70	28.15	27.10	27.25	28.29	29.01	29.77	31.36
	Mediana	33.64	34.55	34.14	32.87	30.49	28.78	28.06	28.29	28.87	29.70	30.53	32.07
	Q3	34.79	35.34	35.03	33.67	31.64	30.85	29.15	29.47	30.49	30.52	31.63	32.93
	Max	36.47	36.68	36.48	35.98	33.38	33.51	32.39	32.44	32.86	32.59	34.17	35.52
	RIC	1.73	1.43	1.27	1.59	1.94	2.70	2.05	2.23	2.20	1.51	1.86	1.57
Precipitación	Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Q1	0.0	1.3	2.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Mediana	1.7	9.6	11.6	5.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.5
	Q3	3.6	33.3	47.9	16.3	2.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.6	0.7	3.3
	Max	390.7	405.9	501.0	114.8	5.9	1.9	1.6	1.6	1.6	2.9	5.0	104.3
	RIC	3.6	32.0	45.6	15.5	2.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.6	0.7	3.3

El gráfico del boxplot mensual obtenido se muestra en la Figura 70. Se visualiza en el gráfico de precipitaciones acumuladas eventos extremos atípicos ocurridos mayormente en los meses de enero, febrero, marzo, abril y diciembre con valores máximos de 390.7 mm, 405.9 mm, 501.0 mm, 114.8 mm, y 104.3 mm, respectivamente. En el gráfico de temperatura máxima se puede visualizar que hay una baja cantidad de eventos atípicos. Solo los meses de julio y diciembre cuentan con atípicos por encima de la media, siendo los valores máximos 32.39°C, y 35.52°C, respectivamente. En el gráfico de temperatura mínima se puede visualizar que hay mayor número de atípicos. Los meses que cuentan con atípicos por debajo de la media son octubre y diciembre, siendo los valores mínimos 8.30°C y 10.90°C, respectivamente. En el gráfico de temperatura media se puede visualizar que los meses que suelen presentar valores atípicos son febrero, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre.



**Figura 70. Boxplot mensual de la estación San Miguel (1991-2019)**

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 24 se muestran los valores promedios de temperatura y de precipitación agrupados por época estacional. Estos valores se obtuvieron al promediar los valores obtenidos en la Tabla 22 del climograma de la estación San Miguel. Se observa que durante el verano la temperatura máxima promedio es de 34.29 °C y durante el invierno la temperatura mínima promedio es 13.68 °C. Además, la estación donde se producen más precipitaciones es en verano y la estación más seca es el invierno.

**Tabla 24. Promedios por estaciones del año de la estación San Miguel (1991-2019)**

Estación	T. mínima	T. media	T. máxima	Precipitación
Verano	19.57	28.10	34.29	36.0
Otoño	16.57	24.96	30.94	5.9
Invierno	13.68	22.55	28.65	0.1
Primavera	14.68	24.32	30.89	2.4

- **Climogramas y Boxplot de la Estación UDEP**

En la Tabla 25 se muestran los valores promedios mensuales de temperatura y de precipitación obtenidos las series históricas de la estación meteorológica UDEP, los cuales sintetizan las principales características del clima:

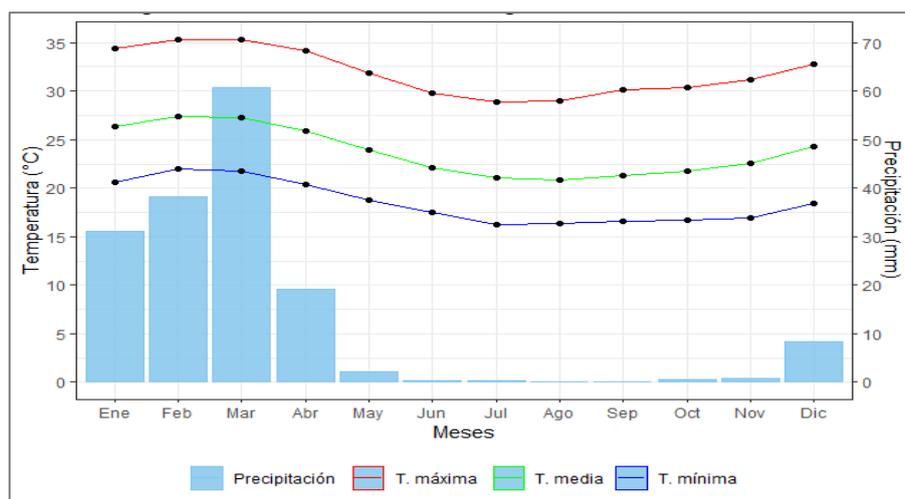
**Tabla 25. Promedios mensuales para elaboración del climograma de la estación UDEP (1991-2019)**

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T. mínima	20.59	21.94	21.74	20.43	18.79	17.55	16.26	16.34	16.63	16.67	16.89	18.48
T. media	26.35	27.42	27.29	25.92	23.98	22.14	21.07	20.86	21.24	21.74	22.52	24.33
T. máxima	34.43	35.29	35.37	34.14	31.91	29.83	28.83	29.02	30.12	30.41	31.19	32.84
Precipitación	31.1	38.3	60.8	19.2	2.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.5	0.8	8.2

El gráfico del climograma obtenido se muestra en la Figura 71. Se visualiza que los datos de las temperaturas corresponden al hemisferio sur ya que la línea de temperaturas es más alta por los laterales que por el centro. El valor más alto de temperatura máxima fue de 35.37°C en el mes de marzo y el valor más bajo de temperatura mínima fue de 16.26°C en el mes de julio. La temperatura media es de 23.74°C, siendo los meses que están por encima de la media: enero, febrero, marzo, abril, mayo y diciembre, y los meses cuyo valor está por debajo: junio, julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre. La amplitud térmica anual es de 6.56°C que corresponde a una oscilación baja. El tipo de clima según la temperatura es cálido ya que la temperatura media que supera los 21°C.

Con respecto a la precipitación acumulada, el máximo valor fue de 60.8 mm en el mes de marzo y el mínimo valor fue de 0.1 mm en los meses de agosto y setiembre. Existe agrupaciones de meses con precipitación pluvial parecidas, siendo los meses que presentan más lluvia: enero, febrero, marzo, abril y diciembre, y los meses más secos: mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre. Según el criterio de Gaussen, existe periodo de aridez en todos los meses, a excepción de marzo, debido a que el gráfico de barras de precipitaciones está por debajo de la línea de temperatura media. La precipitación anual fue de 161.7 mm, por eso el tipo de clima según la precipitación se considera muy seco ya que el total de precipitaciones es inferior a 300 mm anuales.

Así se determina que el clima del distrito de Piura de la provincia de Piura es un clima Cálido Muy Seco, también llamado como Desértico o Árido Tropical.



**Figura 71. Climograma de la estación UDEP (1991-2019)**

Fuente: Elaboración propia.

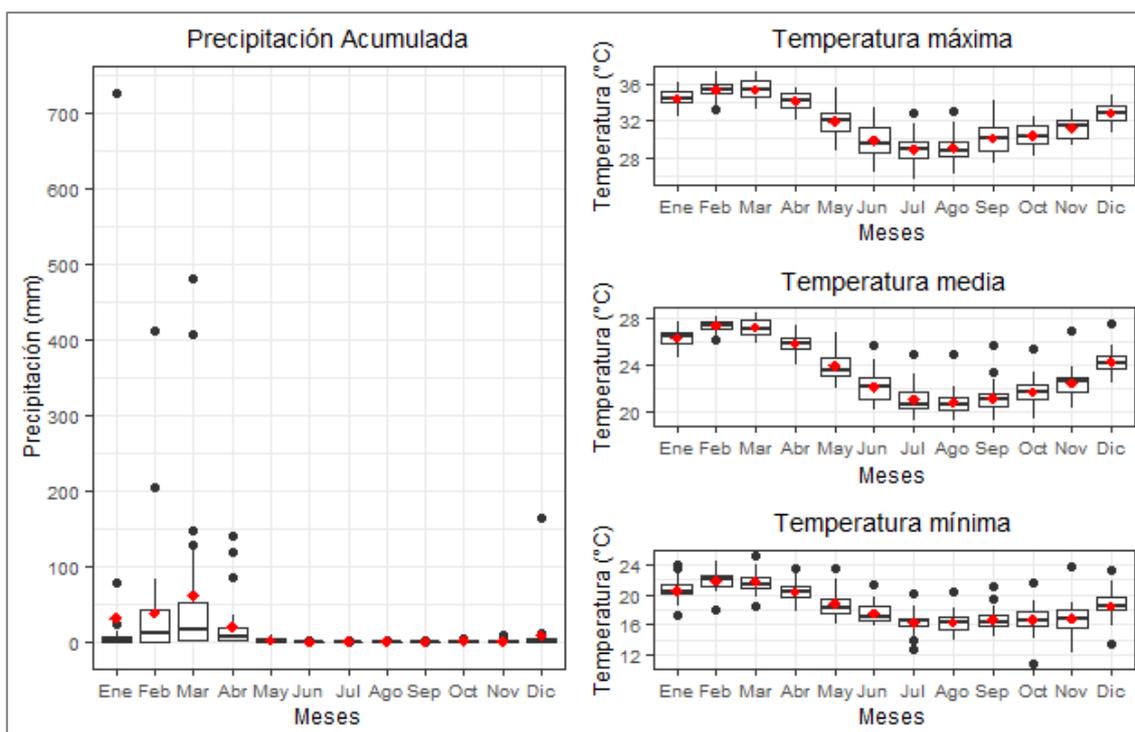
La Tabla 26 muestra los estadísticos descriptivos relevantes obtenidos de las series históricas de la estación meteorológica UDEP, lo cual ayudará a conocer mejor el comportamiento de cada parámetro según el mes del año.

**Tabla 26. Estadísticos descriptivos por mes de la estación UDEP (1991-2019)**

Parámetro	E. desc.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
N° observ.	n	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
T. mínima	Min	17.27	18.00	18.50	17.70	16.17	15.74	12.60	13.80	14.40	10.80	12.24	13.38
	Q1	20.10	21.20	21.00	19.60	17.60	16.58	15.77	15.30	15.80	15.80	15.63	17.90
	Mediana	20.42	22.00	21.40	20.30	18.15	17.15	16.50	16.30	16.40	16.48	16.85	18.60
	Q3	21.32	22.60	22.28	21.20	19.50	18.40	16.91	17.00	17.18	17.85	18.10	19.60
	Max	24.10	24.50	25.30	23.60	23.60	21.30	20.20	20.50	21.20	21.70	23.80	23.20
	RIC	1.22	1.40	1.28	1.60	1.90	1.82	1.14	1.70	1.38	2.05	2.47	1.70
T. media	Min	24.74	26.28	25.90	24.10	22.00	20.20	19.30	19.23	19.20	19.46	20.40	22.47
	Q1	25.87	27.20	26.70	25.50	23.12	21.05	20.35	20.13	20.47	21.15	21.82	23.80
	Mediana	26.48	27.50	27.20	25.97	23.60	22.20	20.70	20.60	21.20	21.77	22.60	24.20
	Q3	26.90	27.80	27.86	26.44	24.69	22.90	21.72	21.30	21.60	22.30	22.95	24.89
	Max	27.80	28.28	28.50	27.40	26.90	25.70	25.00	25.00	25.80	25.50	27.00	27.60
	RIC	1.03	0.60	1.16	0.94	1.57	1.85	1.37	1.17	1.13	1.15	1.13	1.09

T. máxima	Min	32.40	33.20	33.30	32.10	28.70	26.30	25.57	26.20	27.30	28.20	29.30	30.60
	Q1	34.00	34.90	34.60	33.52	30.90	28.60	27.95	28.03	28.65	29.40	30.12	32.10
	Mediana	34.44	35.46	35.30	34.20	32.00	29.58	28.87	28.70	30.10	30.30	31.44	32.90
	Q3	35.20	36.00	36.30	34.90	32.80	31.20	29.60	29.70	31.20	31.40	32.10	33.70
	Max	36.10	37.40	37.30	35.50	35.60	33.40	32.90	33.00	34.30	32.40	33.20	34.70
	RIC	1.20	1.10	1.70	1.38	1.90	2.60	1.65	1.67	2.55	2.00	1.98	1.60
Precipitación	Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Q1	0.5	0.5	2.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Mediana	1.6	10.5	16.0	6.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1
	Q3	7.0	42.3	51.0	17.3	3.2	0.4	0.0	0.0	0.0	1.0	0.8	4.2
	Max	725.8	412.3	481.3	139.8	7.7	1.8	2.8	2.0	0.8	3.0	9.2	163.7
	RIC	6.5	41.8	48.8	16.3	3.2	0.4	0.0	0.0	0.0	1.0	0.8	4.2

El gráfico del boxplot mensual obtenido se muestra en la Figura 72. Se visualiza en el gráfico de precipitaciones acumuladas eventos extremos atípicos ocurridos mayormente en los meses de enero, febrero, marzo, abril y diciembre con valores máximos de 725.8 mm, 412.3 mm, 481.3 mm, 139.8 mm, y 163.7 mm, respectivamente. En el gráfico de temperatura máxima se puede visualizar que hay una baja cantidad de eventos atípicos. Solo los meses de julio y agosto cuentan con atípicos por encima de la media, siendo los valores máximos 32.90°C y 33.00°C, respectivamente. En el gráfico de temperatura mínima se puede visualizar que hay mayor número de atípicos. Los meses que cuentan con atípicos por debajo de la media son enero, febrero, marzo, julio, octubre y diciembre, siendo los valores mínimos 17.27°C, 18.00°C, 18.50°C, 12.60°C, 10.80°C y 13.38°C, respectivamente. En el gráfico de temperatura media se puede visualizar que los meses que suelen presentar valores atípicos son febrero, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre.



**Figura 72. Boxplot mensual de la estación UDEP (1991-2019)**

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 27 se muestran los valores promedios de temperatura y de precipitación agrupados por época estacional. Estos valores se obtuvieron al promediar los valores obtenidos en la Tabla 25 del climograma de la estación UDEP. Se observa que durante el verano la temperatura máxima promedio es de 35.03 °C y durante el invierno la temperatura mínima promedio es 16.41 °C. Además, la estación donde se producen más precipitaciones es en verano y la estación más seca es el invierno.

**Tabla 27. Promedios por estaciones del año de la estación UDEP (1991-2019)**

Estación	T. mínima	T. media	T. máxima	Precipitación
Verano	21.43	27.02	35.03	43.4
Otoño	18.92	24.02	31.96	7.2
Invierno	16.41	21.06	29.32	0.1
Primavera	17.35	22.87	31.48	3.2

**4.1.4.2 Análisis del comportamiento de las precipitaciones acumuladas mensuales durante eventos FEN.** Para el estudio del comportamiento de las precipitaciones acumuladas mensuales durante los eventos FEN más representativos en los últimos años, se aplicó como herramienta gráfica el diagrama de barras para comparar en un mismo gráfico los valores obtenidos de los eventos del 1982-1983, del 1997-1998 y del 2016-2017 en cada estación meteorológica.

Para esta parte se trabajó con el año hidrológico con la finalidad de intentar reflejar adecuadamente el comportamiento de las precipitaciones. Las precipitaciones extremas pueden producirse en primavera (setiembre a diciembre), verano (diciembre a marzo) y otoño (marzo a junio). Debido a esto, se iniciaron los gráficos con el mes de setiembre, evitando así eliminar un dato interesante de otro mes igualmente intenso pero menor.

- **Diagrama de barras de la Estación Bernal**

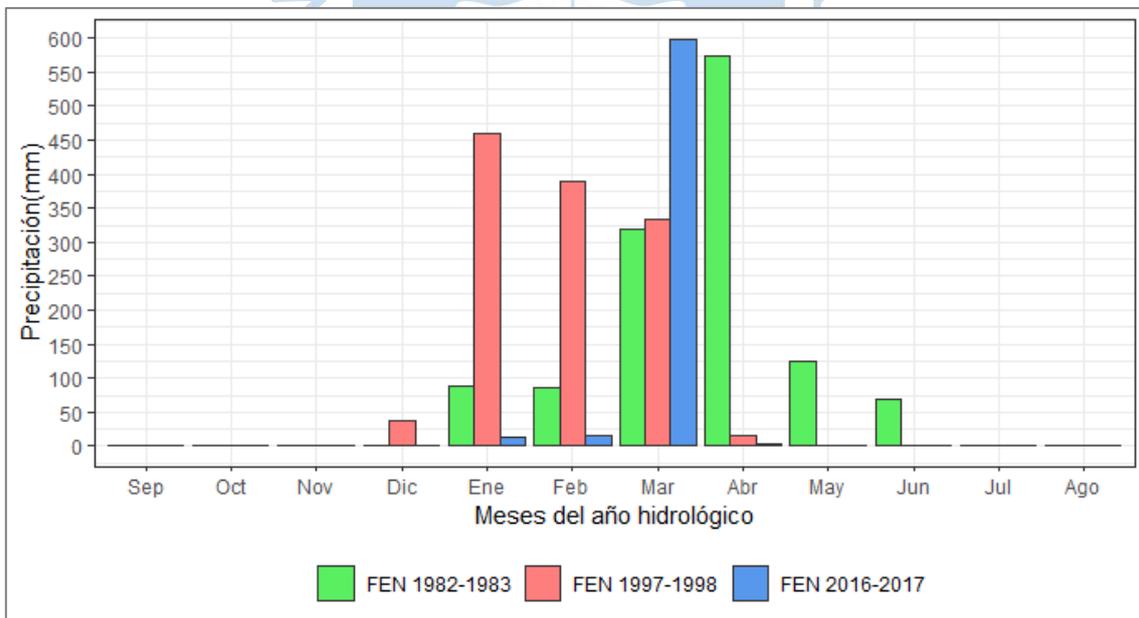
En la Tabla 28 se muestran los valores de las precipitaciones acumuladas mensuales durante los últimos años FEN más representativos obtenidas de la estación meteorológica Bernal.

**Tabla 28. Precipitaciones acumuladas mensuales de la estación Bernal durante el FEN del 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017**

Mes	Año	Precipitación	Año	Precipitación	Año	Precipitación
Sep	1982	0.0	1997	0.0	2016	0.0
Oct	1982	1.2	1997	0.0	2016	0.0
Nov	1982	0.0	1997	1.8	2016	0.0
Dic	1982	0.0	1997	36.5	2016	0.0
Ene	1983	89.1	1998	459.1	2017	12.6
Feb	1983	85.5	1998	389.8	2017	14.3
Mar	1983	319.2	1998	333.8	2017	597.2
Abr	1983	573.1	1998	16.6	2017	3.1
May	1983	124.4	1998	1.2	2017	0.0
Jun	1983	69.2	1998	0.0	2017	0.0
Jul	1983	0.0	1998	0.0	2017	0.1
Ago	1983	0.0	1998	0.0	2017	1.5

Se compararon los valores mensuales de la Tabla 28 con los valores promedios mensuales de precipitación obtenidos en la Tabla 13 del climograma de la estación Bernal. Se visualizó que en el evento del 1982-1983, los meses con valores de precipitación por debajo de su promedio mensual fueron setiembre, noviembre y diciembre del 82, y julio y agosto del 83. Los meses con valores de precipitación por encima de su promedio mensual fueron en octubre del 82, y enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio del 83. En el evento del 1997-1998, los meses con valores de precipitación por debajo de su promedio mensual fueron setiembre y octubre del 97, y junio, julio y agosto del 98. Los meses con valores de precipitación por encima de su promedio mensual fueron noviembre y diciembre del 97, y enero, febrero, marzo, abril y mayo del 98. En el evento del 2016-2017, los meses con valores de precipitación por debajo de su promedio mensual fueron setiembre, octubre, noviembre y diciembre del 2016, y enero y febrero del 2017. Los meses con valores de precipitación por encima de su promedio mensual fueron marzo y agosto del 2017.

El gráfico de barras obtenido se muestra en la Figura 73. Se visualiza gran diferencia en el comportamiento de los eventos FEN en los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio. También hay diferencia en los meses pico, siendo en el evento del 1982-1983 el mes de abril con un valor de 573.1 mm; en el evento del 1997-1998 el mes de enero con un valor de 459.1 mm; y en el evento del 1997-1998 el mes de marzo con un valor de 597.2 mm.



**Figura 73. Diagrama de barras de las precipitaciones acumuladas mensuales de la estación meteorológica Bernal durante el FEN del 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017**

Fuente: Elaboración propia.

- **Diagrama de barras de la Estación Chusis**

En la Tabla 29 se muestran los valores de las precipitaciones acumuladas mensuales durante los últimos años FEN más representativas obtenidas de la estación meteorológica Chusis.

**Tabla 29. Precipitaciones acumuladas mensuales de la estación Chusis durante el FEN del 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017**

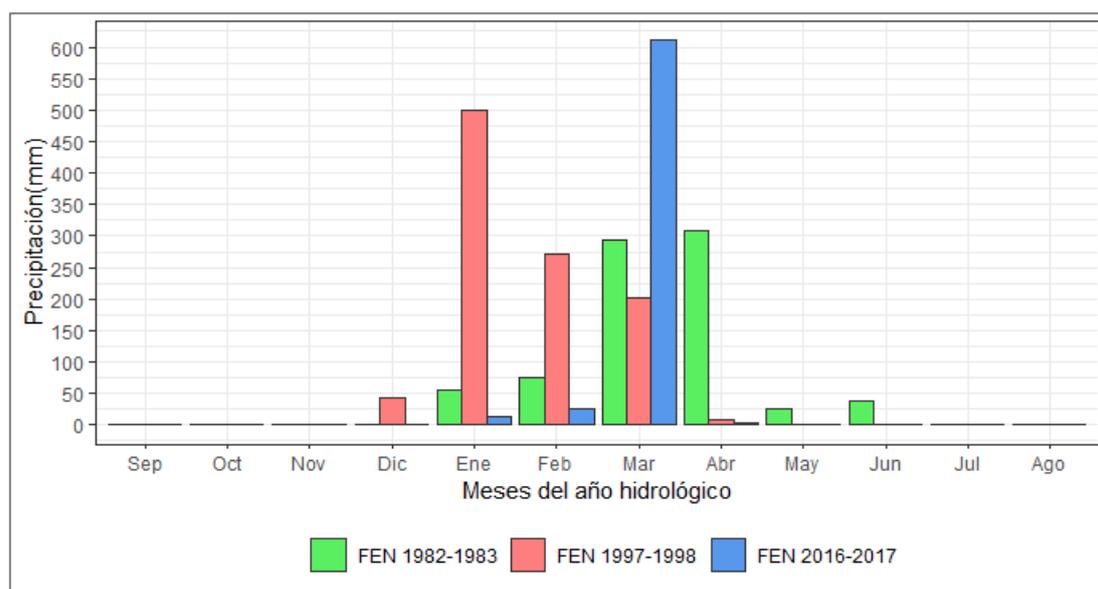
Mes	Año	Precipitación	Año	Precipitación	Año	Precipitación
Sep	1982	0.0	1997	0.0	2016	0.0
Oct	1982	1.2	1997	0.0	2016	0.0
Nov	1982	0.0	1997	2.1	2016	0.0
Dic	1982	0.5	1997	42.2	2016	0.0
Ene	1983	55.9	1998	500.9	2017	13.7
Feb	1983	74.4	1998	272.3	2017	24.7
Mar	1983	294.3	1998	202.1	2017	610.3
Abr	1983	309.4	1998	7.5	2017	3.0
May	1983	25.5	1998	0.3	2017	1.5
Jun	1983	39.2	1998	0.0	2017	0.0
Jul	1983	0.0	1998	0.0	2017	0.0
Ago	1983	0.0	1998	0.0	2017	0.0

Se compararon los valores mensuales de la Tabla 29 con los valores promedios mensuales de precipitación obtenidos en la

Tabla 16 del climograma de la estación Chusis. Se visualizó que en el evento del 1982-1983, los meses con valores de precipitación por debajo de su promedio mensual fueron noviembre y diciembre del 82, y julio del 83. Dentro del promedio se encuentran los meses de setiembre y agosto, con ausencia de lluvias. Los meses con valores de precipitación por encima de su promedio mensual fueron octubre del 82, y enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio del 83. En el evento del 1997-1998 se visualiza que los meses con valores de precipitación por debajo de su promedio mensual fueron octubre del 97, y mayo, junio y julio del 98. Dentro del promedio se encuentran los meses de setiembre y agosto, con ausencia de lluvias. Los meses con valores de precipitación por encima de su promedio mensual fueron noviembre y diciembre del 97, y enero, febrero, marzo y abril del 98. En el evento del 2016-2017 se visualiza que los meses con valores de precipitación por debajo de su promedio mensual fueron octubre, noviembre y diciembre del 2016, y enero, abril, junio y julio del 2017. Dentro del

promedio se encuentran los meses de setiembre y agosto, con ausencia de lluvias. Los meses con valores de precipitación por encima de su promedio mensual fueron febrero, marzo y mayo del 2017.

El gráfico de barras obtenido se muestra en la Figura 74. Se visualiza gran diferencia en el comportamiento de los eventos FEN en los meses de enero, febrero, marzo y abril. También hay diferencia en los meses pico, siendo en el evento del 1982-1983 el mes de abril con un valor de 309.4 mm; en el evento del 1997-1998 el mes de enero con un valor de 500.9 mm; y en el evento del 1997-1998 el mes de marzo con un valor de 610.3 mm.



**Figura 74. Diagrama de barras de las precipitaciones acumuladas mensuales de la estación meteorológica Chusis durante el FEN del 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017**

Fuente: Elaboración propia.

- **Diagrama de barras de la Estación Miraflores**

En la Tabla 30 se muestran los valores de las precipitaciones acumuladas mensuales durante los últimos años FEN más representativos obtenidas de la estación meteorológica Miraflores.

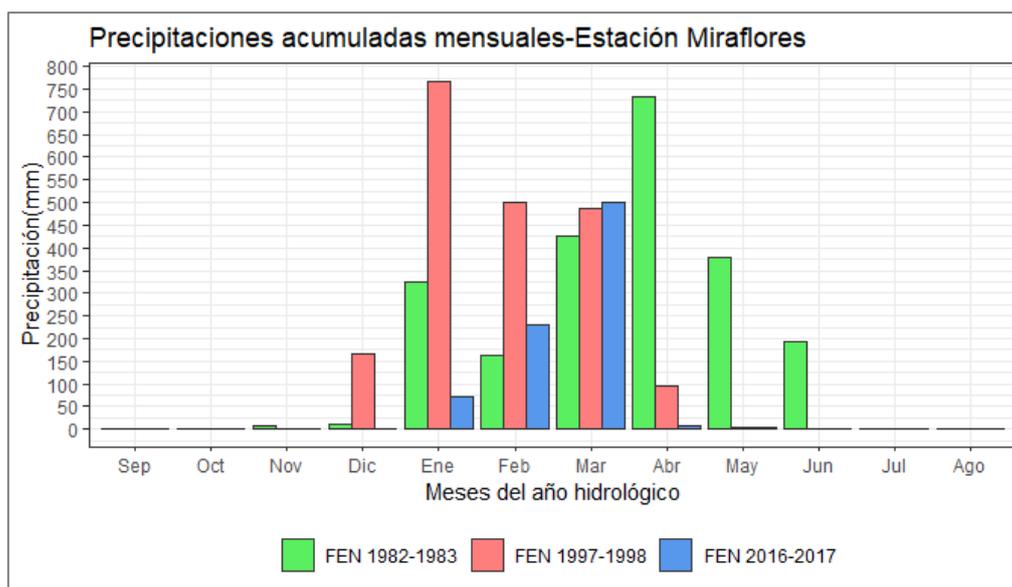
**Tabla 30. Precipitaciones acumuladas mensuales de la estación Miraflores durante el FEN del 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017**

Mes	Año	Precipitación	Año	Precipitación	Año	Precipitación
Sep	1982	0.1	1997	0.0	2016	0.0
Oct	1982	1.7	1997	0.6	2016	0.0

Nov	1982	6.7	1997	2.4	2016	0.0
Dic	1982	10.1	1997	165.0	2016	1.8
Ene	1983	324.5	1998	768.7	2017	72.3
Feb	1983	161.7	1998	500.0	2017	229.5
Mar	1983	427.1	1998	485.8	2017	498.8
Abr	1983	732.5	1998	95.1	2017	7.1
May	1983	379.6	1998	5.6	2017	4.5
Jun	1983	192.4	1998	0.0	2017	0.0
Jul	1983	0.7	1998	0.0	2017	0.2
Ago	1983	0.5	1998	0.0	2017	0.0

Se compararon los valores mensuales de la Tabla 30 con los valores promedios mensuales de precipitación obtenidos en la Tabla 19 del climograma de la estación Miraflores. Se visualizó que en el evento del 1982-1983, ningún mes tiene valores de precipitación por debajo de su promedio mensual. Dentro del promedio se encuentra solo el mes de setiembre. Los meses con valores de precipitación por encima de su promedio mensual fueron octubre, noviembre y diciembre del 82, y enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio y agosto del 83. En el evento del 1997-1998, los meses con valores de precipitación por debajo de su promedio mensual fueron setiembre del 97, y junio y julio del 98. Dentro del promedio se encuentra solo el mes de agosto, con ausencia de lluvias. Los meses con valores de precipitación por encima de su promedio mensual fueron octubre, noviembre y diciembre del 97, y enero, febrero, marzo, abril y mayo del 98. En el evento del 2016-2017, los meses con valores de precipitación por debajo de su promedio mensual fueron setiembre, octubre, noviembre y diciembre del 2016, y enero, abril y julio del 2017. Dentro del promedio se encuentran los meses de julio y agosto. Los meses con valores de precipitación por encima de su promedio mensual fueron enero, febrero, marzo y mayo del 2017.

El gráfico de barras obtenido se muestra en la Figura 75. Se visualiza gran diferencia en el comportamiento de los eventos FEN en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril. También hay diferencia en los meses pico, siendo en el evento del 1982-1983 el mes de abril con un valor de 732.5 mm; en el evento del 1997-1998 el mes de enero con un valor de 768.7 mm; y en el evento del 1997-1998 el mes de marzo con un valor de 498.8 mm.



**Figura 75. Diagrama de barras de las precipitaciones acumuladas mensuales de la estación meteorológica Miraflores durante el FEN del 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017**

Fuente: Elaboración propia.

- **Diagrama de barras de la Estación San Miguel**

En la Tabla 31 se muestran los valores de las precipitaciones acumuladas mensuales durante los últimos años FEN más representativos obtenidas de la estación meteorológica San Miguel.

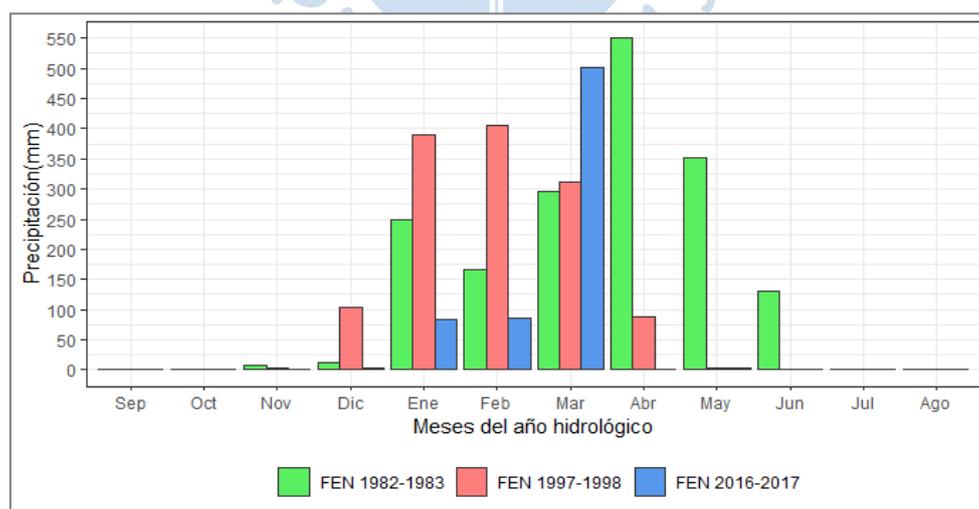
**Tabla 31. Precipitaciones acumuladas mensuales de la estación San Miguel durante el FEN del 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017**

Mes	Año	Precipitación	Año	Precipitación	Año	Precipitación
Sep	1982	1.6	1997	0.0	2016	0.1
Oct	1982	0.0	1997	0.0	2016	0.1
Nov	1982	6.5	1997	3.5	2016	0.1
Dic	1982	11.3	1997	104.3	2016	2.6
Ene	1983	249.8	1998	390.7	2017	84.0
Feb	1983	165.2	1998	405.9	2017	86.1
Mar	1983	296.9	1998	311.3	2017	501.0
Abr	1983	549.7	1998	87.5	2017	1.7
May	1983	351.9	1998	3.2	2017	2.8
Jun	1983	130.6	1998	0.0	2017	0.1

Jul	1983	0.0	1998	0.0	2017	0.1
Ago	1983	0.4	1998	0.0	2017	0.0

Se compararon los valores mensuales de la Tabla 31 con los valores promedios mensuales de precipitación obtenidos en la Tabla 22 del climograma de la estación San Miguel. Se visualizó que en el evento del 1982-1983, los meses con valores de precipitación por debajo de su promedio mensual fueron octubre del 82, y julio del 83. Los meses con valores de precipitación por encima de su promedio mensual fueron setiembre, noviembre y diciembre del 82, y enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio y agosto del 83. En el evento del 1997-1998, los meses con valores de precipitación por debajo de su promedio mensual fueron setiembre y octubre del 97, y junio, julio y agosto del 98. Los meses con valores de precipitación por encima de su promedio mensual fueron noviembre y diciembre del 97, y enero, febrero, marzo, abril y mayo del 98. En el evento del 2016-2017, los meses con valores de precipitación por debajo de su promedio mensual fueron setiembre, octubre, noviembre y diciembre del 2016, y abril, junio, julio y agosto del 2017. Los meses con valores de precipitación por encima de su promedio mensual fueron enero, febrero, marzo y mayo del 2017.

El gráfico de barras obtenido se muestra en la Figura 76. Se visualiza gran diferencia en el comportamiento de los eventos FEN en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio. También hay diferencia en los meses pico, siendo en el evento del 1982-1983 el mes de abril con un valor de 549.7 mm; en el evento del 1997-1998 el mes de febrero con un valor de 405.9 mm; y en el evento del 1997-1998 el mes de marzo con un valor de 501.0 mm.



**Figura 76. Diagrama de barras de las precipitaciones acumuladas mensuales de la estación meteorológica San Miguel durante el FEN del 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017**

Fuente: Elaboración propia.

- **Diagrama de barras de la Estación UDEP**

En la

Tabla 32 se muestran los valores de las precipitaciones acumuladas mensuales durante los últimos años FEN más representativos obtenidas de la estación meteorológica UDEP.

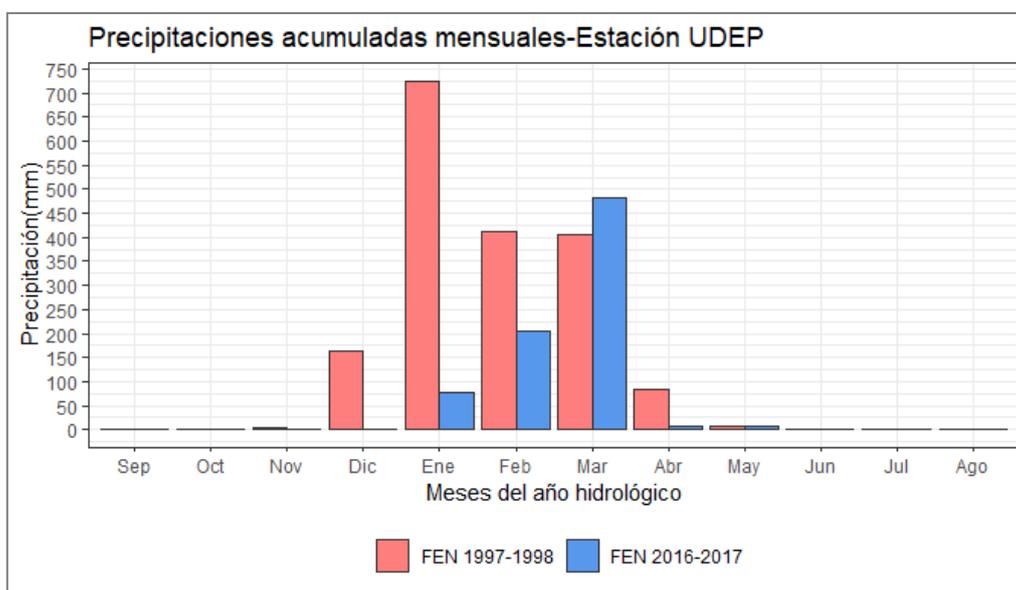
**Tabla 32. Precipitaciones acumuladas mensuales de la estación UDEP durante el FEN del 1997-1998 y 2016-2017**

Mes	Año	Precipitación	Año	Precipitación
Sep	1997	0.0	2016	0.0
Oct	1997	2.0	2016	0.0
Nov	1997	3.4	2016	0.0
Dic	1997	163.7	2016	2.0
Ene	1998	725.8	2017	78.6
Feb	1998	412.3	2017	205.1
Mar	1998	406.5	2017	481.3
Abr	1998	85.0	2017	6.4
May	1998	7.7	2017	7.4
Jun	1998	0.0	2017	0.0
Jul	1998	0.0	2017	0.0
Ago	1998	0.0	2017	0.0

Se compararon los valores mensuales de la Tabla 32 con los valores promedios mensuales de precipitación obtenidos en la Tabla 25 del climograma de la estación UDEP. Se visualizó que en el evento del 1997-1998, los meses con valores de precipitación por debajo de su promedio mensual fueron setiembre del 97, y junio, julio y agosto del 98. Los meses con valores de precipitación por encima de su promedio mensual fueron octubre, noviembre y diciembre del 97, y enero, febrero, marzo, abril y mayo del 98. En el evento del 2016-2017, los meses con valores de precipitación por debajo de su promedio mensual fueron setiembre, octubre, noviembre y diciembre del 2016, y abril, junio, julio y agosto del 2017. Los meses con valores de precipitación por encima de su promedio mensual fueron enero, febrero, marzo y mayo del 2017.

El gráfico de barras obtenido se muestra en la Figura 77. Se visualiza gran diferencia en el comportamiento de los eventos FEN en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo. También hay diferencia en los meses pico, siendo en el evento del 1997-1998 el mes de enero

con un valor de 725.8 mm; y en el evento del 1997-1998 el mes de marzo con un valor de 481.3 mm.



**Figura 77. Diagrama de barras de las precipitaciones acumuladas mensuales de la estación meteorológica UDEP durante el FEN del 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017**

Fuente: Elaboración propia.

**4.1.4.3 Análisis de la evolución de las tendencias de las precipitaciones acumuladas, temperaturas extremas y sus anomalías.** Para conocer el comportamiento de las variables climáticas a lo largo del tiempo, se estudiaron las tendencias mensuales de la precipitación acumulada, temperatura mínima, temperatura media y temperatura máxima.

Se aplicaron dos métodos para abarcar el estudio: el método de Descomposición Clásica y método de Línea de Tendencia, siendo ambos métodos desarrollados mediante el software R Studio.

Para el primer método se usó la función “decompose”, mediante la cual se realizó una descomposición de cada serie temporal en sus componentes estacional, de tendencia y de ruido, a través de un ajuste de medias móviles. Se eligió trabajar con el tipo de componente estacional aditivo, ya que la variación de cada una de las series históricas parece constante en condiciones No Niño, es decir, a excepción de los años FEN, a medida que la serie de tiempo aumenta en magnitud, no aumenta la variación estacional.

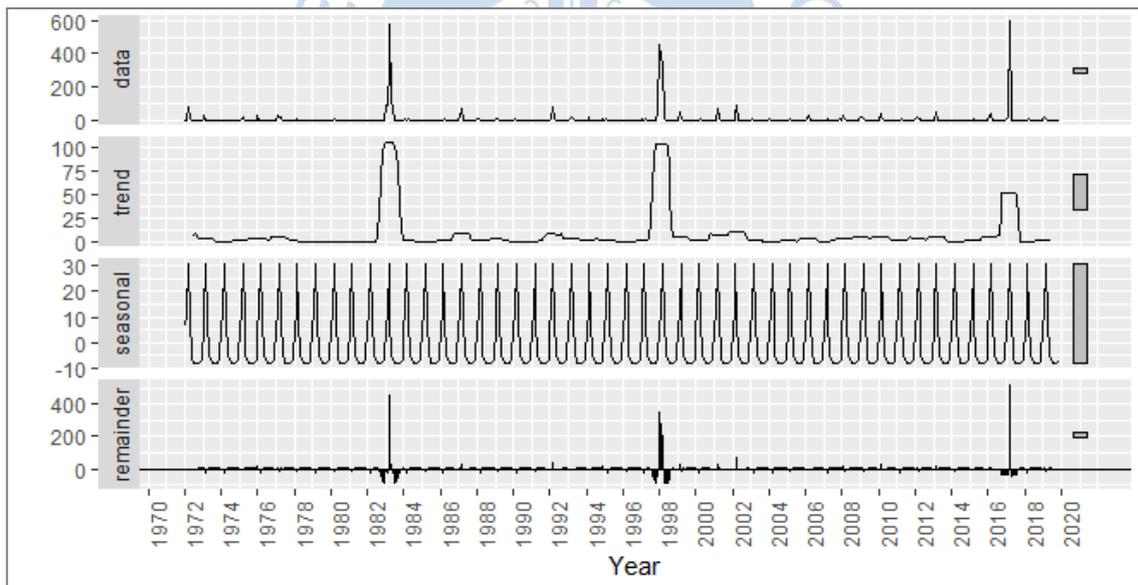
Para el segundo método se usaron diversas funcionalidades de “ggplot” para aplicar la técnica de regresión lineal a cada serie temporal, y así obtener la línea de tendencia junto con su respectiva ecuación.

Para estudiar las anomalías anuales de la precipitación y temperaturas extremas (máxima y mínima), se aplicó lo mencionado en el apartado 1.4.1.4 con la finalidad de evaluar la existencia de un cambio progresivo en la información climática.

- **Tendencia de la precipitación acumulada mensual**

Para este análisis se trabajó con un periodo de años en el que las series históricas de precipitación mensual se encuentren completas. Dicho periodo fue de 48 años, de 1972 hasta 2019, a excepción de la estación UDEP cuyo periodo de análisis fue de 29 años, de 1991 hasta 2019.

Como primer método, se aplicó una Descomposición Clásica Aditiva a la serie histórica de precipitación mensual de cada estación meteorológica. En todos los gráficos se observó que las tendencias son parecidas entre sí. Se observa en la componente del ciclo de tendencia que no hay una tendencia clara a lo largo de los años porque los valores se mantienen dentro de un mismo rango, a excepción de los años FEN donde las precipitaciones aumentan abruptamente durante los meses de verano. Esto implica que antes de la ocurrencia de un FEN no hay alguna indicación progresiva en el comportamiento de la precipitación de meses o años previos que indique su llegada, lo cual hace imposible detectar o pronosticar su ocurrencia usando solo ese parámetro. La componente irregular parece aproximadamente estacionaria y sin patrones de tendencia o estacionalidad.



**Figura 78. Serie histórica de la precipitación acumulada mensual de las estaciones**

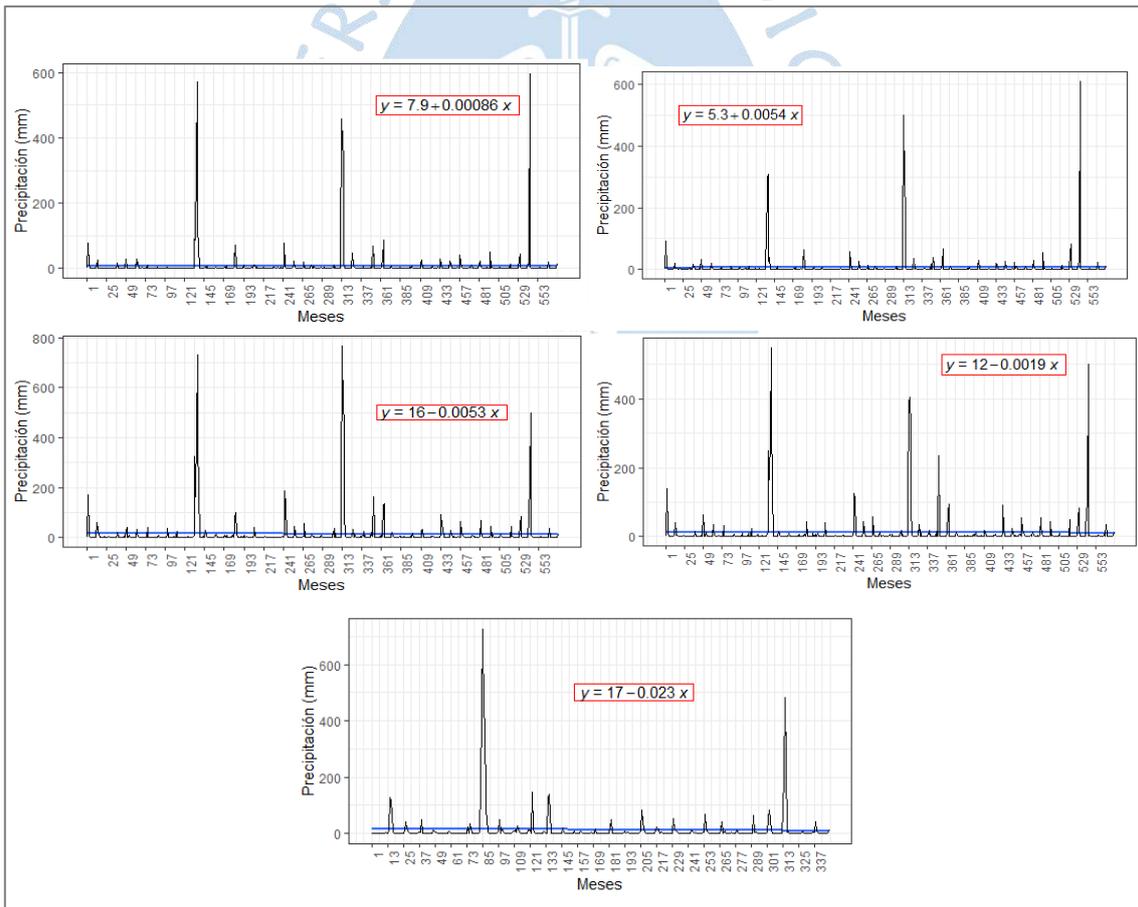
Fuente: Elaboración propia.

Como segundo método, se analizaron las tendencias de las series históricas de precipitación acumulada mediante gráficos de regresión lineal. Bernal y Chusis presentaron una tendencia positiva; mientras que, Miraflores, San Miguel y UDEP mostraron una tendencia negativa. El cambio positivo más alto fue en la estación Chusis, la cual muestra un aumento a razón de 0.1 mm por década; y el mayor cambio negativo fue de la estación UDEP, con una

disminución de -2.8 mm por década. A continuación, en la Tabla 33 se presenta la variación anual de cada una de las estaciones.

**Tabla 33. Variación de precipitación para cada estación (mm/año)**

Estación Meteorológica	Anual
Bernal	0.0103
Chusis	0.0648
Miraflores	-0.0636
San Miguel	-0.0228
UDEP	-0.2760



**Figura 79. Serie histórica y tendencia de la precipitación acumulada mensual de la estación Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Miguel (Al medio) (1972-2019). Abajo, estación UDEP (1991-2019)**

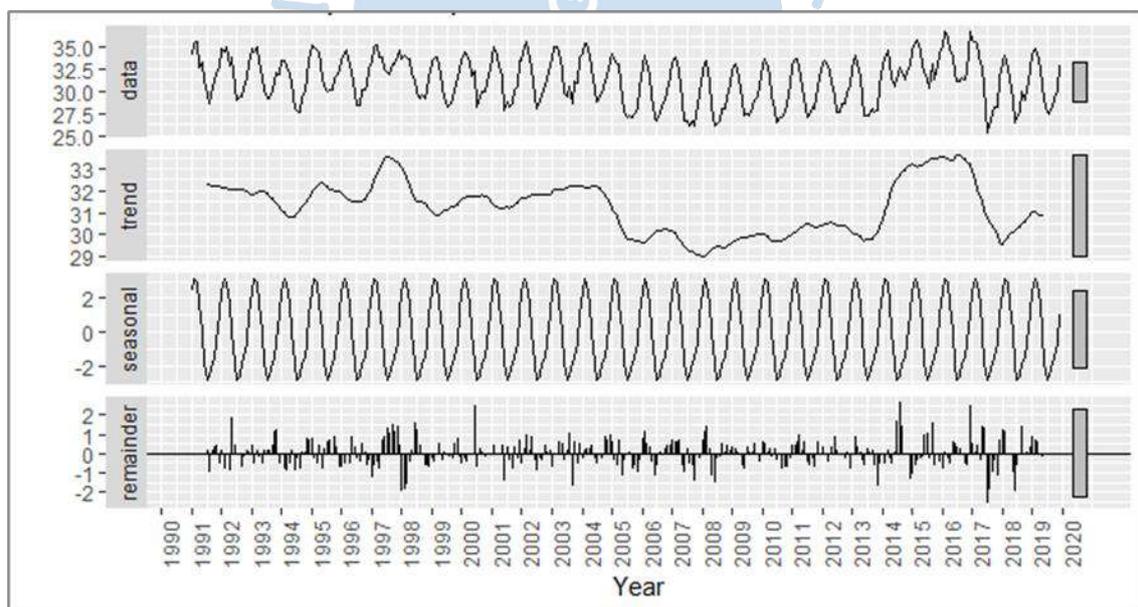
Fuente: Elaboración propia.

- **Tendencia de la temperatura máxima mensual**

Para este análisis se trabajó con un periodo de años en el que las series históricas de temperatura máxima mensual se encuentren completas. Dicho periodo fue de 29 años, de 1991 hasta 2019.

Como primer método, se aplicó una Descomposición Clásica Aditiva a la serie histórica de temperatura máxima mensual de cada estación meteorológica. En cada gráfica se puede observar que las tendencias son diferentes entre sí.

La Figura 80 presenta la descomposición aditiva de la temperatura máxima mensual de la estación Bernal. Se observa en la componente del ciclo de tendencia que no hay una tendencia clara a lo largo de los años porque los valores se mantienen dentro de un mismo rango, a excepción de los años FEN donde la temperatura aumenta abruptamente durante los meses de verano. Esto implica que antes de la ocurrencia de un FEN no hay alguna indicación progresiva en el comportamiento de la temperatura máxima de meses o años previos que indique su llegada, lo cual hace casi imposible detectar o pronosticar su ocurrencia usando solo ese parámetro. Los valores de la tendencia oscilan entre 29°C y 33°C, presentando el menor pico en el 2018 y los mayores picos en 2016 y 2017. La componente irregular parece aproximadamente estacionaria y sin patrones de tendencia o estacionalidad.



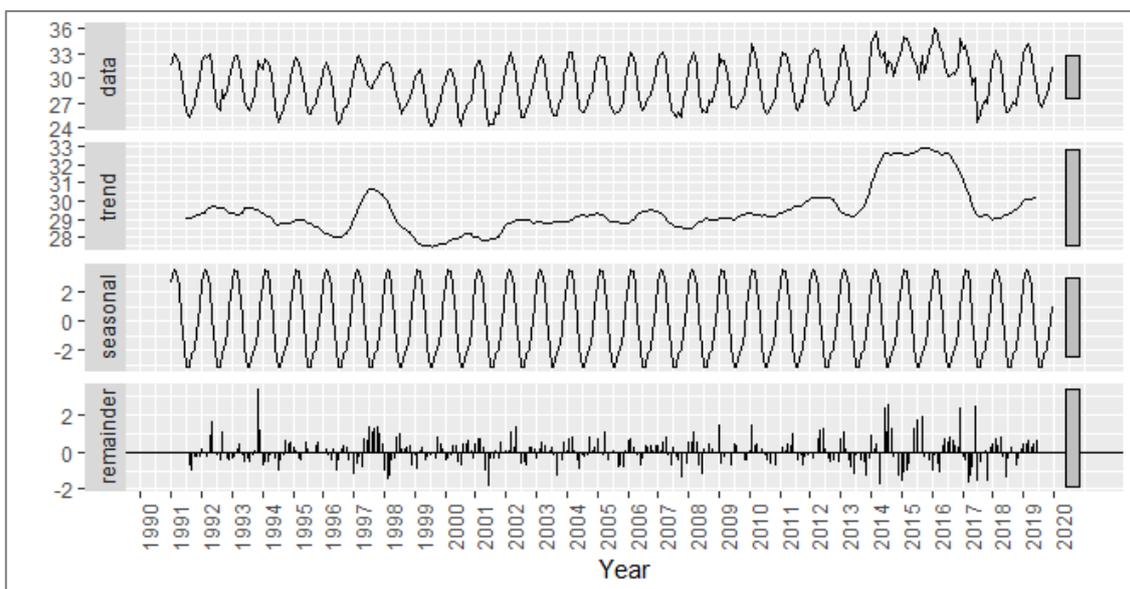
**Figura 80. Serie histórica de la temperatura máxima mensual de la estación Bernal (arriba) y sus tres componentes aditivos (1991-2019)**

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 81 presenta la descomposición aditiva de la temperatura máxima mensual de la estación Chusis. Se observa en la componente del ciclo de tendencia que hay un aumento

progresivo, largo y ligero en la tendencia desde 1999 hasta el 2012, a excepción de los años FEN donde la temperatura presenta un aumento grande durante los meses de verano, lo cual es una indicación progresiva de su llegada con meses previos, esto se observa tanto en el año 1997 como en los años 2014, 2015 y 2016, y además se ve que las temperaturas máximas de invierno han sido 2 °C o 3 °C más altas. Sin embargo, es de extrañeza que en el año 1998 no se note una temperatura máxima de verano más alta.

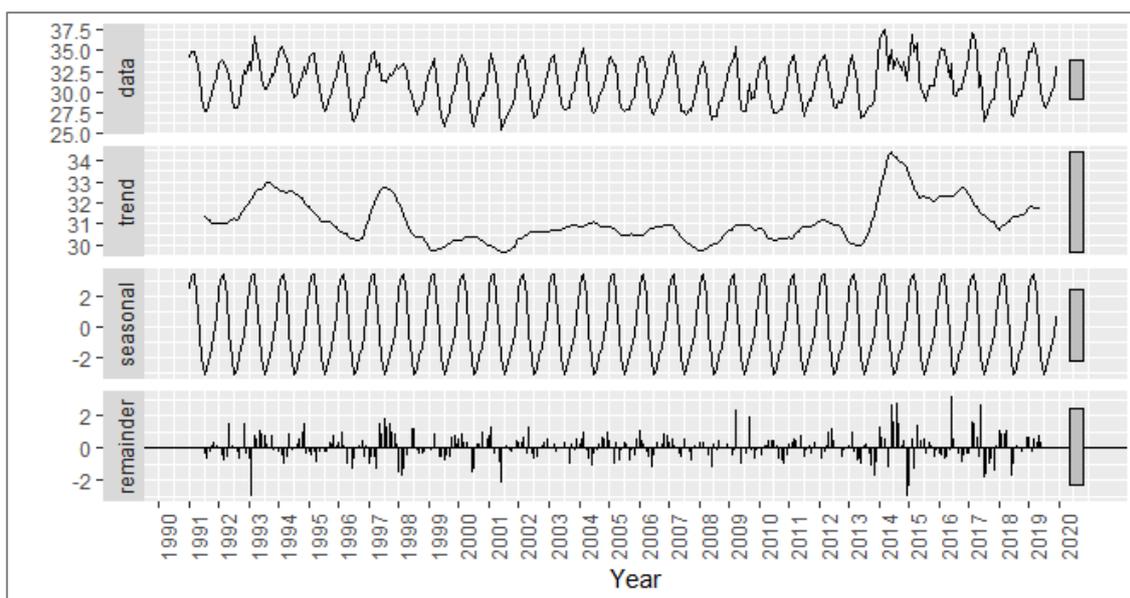
Los valores de la tendencia oscilan entre 28°C y 33°C, presentando el menor pico en el 1999 y el mayor pico en el 2016. La componente irregular parece aproximadamente estacionaria y sin patrones de tendencia o estacionalidad.



**Figura 81. Serie histórica de la temperatura máxima mensual de la estación Chusis (arriba) y sus tres componentes aditivos (1991-2019)**

Fuente: Elaboración propia.

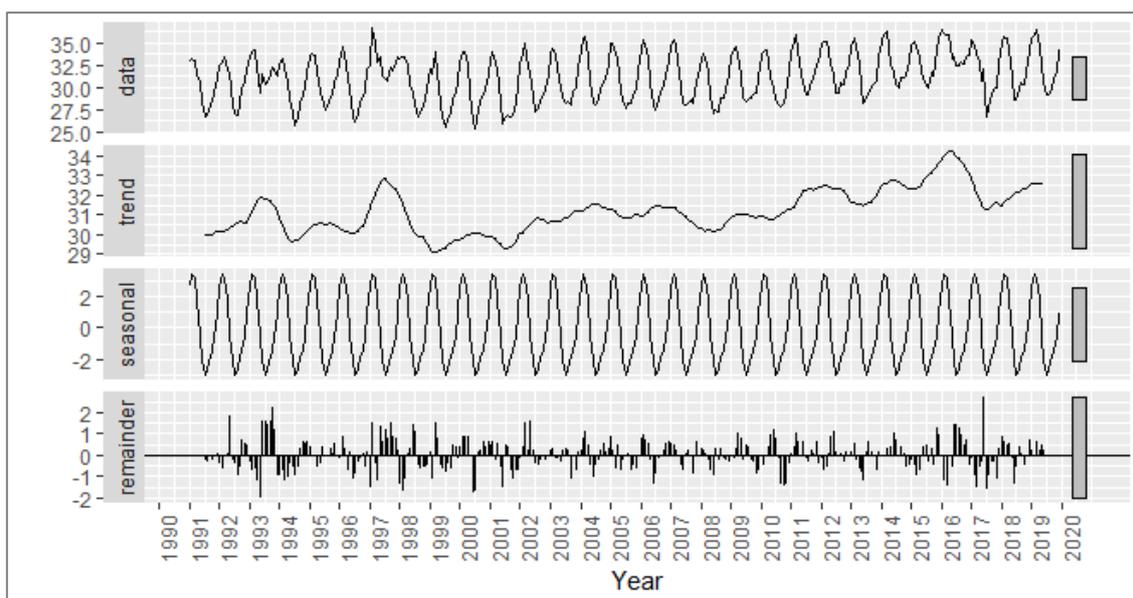
La Figura 82 presenta la descomposición aditiva de la temperatura máxima mensual de la estación Miraflores. Se observa en la componente del ciclo de tendencia que no hay una tendencia clara a lo largo de los años porque los valores se mantienen dentro de un mismo rango, a excepción de los años FEN donde la temperatura aumenta abruptamente durante los meses de verano. Esto implica que antes de la ocurrencia de un FEN no hay alguna indicación progresiva en el comportamiento de la temperatura máxima de meses o años previos que indique su llegada, lo cual hace casi imposible detectar o pronosticar su ocurrencia usando solo ese parámetro. Los valores de la tendencia oscilan entre 30°C y 34°C, presentando el menor pico en el 1999, 2001, 2007 y 2013, y los mayores picos en 2014. La componente irregular parece aproximadamente estacionaria y sin patrones de tendencia o estacionalidad.



**Figura 82. Serie histórica de la temperatura máxima mensual de la estación Miraflores (arriba) y sus tres componentes aditivos (1991-2019)**

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 83 presenta la descomposición aditiva de la temperatura máxima mensual de la estación San Miguel. Se observa en la componente del ciclo de tendencia que hay un aumento progresivo y largo en la tendencia desde 2001 hasta el 2016, pero en general, los valores se mantienen dentro de un mismo rango, a excepción de los años FEN donde la temperatura presenta un aumento abrupto durante los meses de verano. Esto implica que antes de la ocurrencia de un FEN no hay alguna indicación progresiva en el comportamiento de la temperatura máxima de meses o años previos que indique su llegada, lo cual hace casi imposible detectar o pronosticar su ocurrencia usando solo ese parámetro. Los valores de la tendencia oscilan entre 29°C y 34°C, presentando el menor pico en el 1999, y 2001, y los mayores picos en 2016. La componente irregular parece aproximadamente estacionaria y sin patrones de tendencia o estacionalidad.



**Figura 83. Serie histórica de la temperatura máxima mensual de la estación San Miguel (arriba) y sus tres componentes aditivos (1991-2019)**

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 84 presenta la descomposición aditiva de la temperatura máxima mensual de la estación UDEP. Se observa en la componente del ciclo de tendencia que hay un aumento progresivo y largo en la tendencia desde 1999 hasta el 2016, pero en general, los valores se mantienen dentro de un mismo rango, a excepción de los años FEN donde la temperatura presenta un aumento abrupto durante los meses de verano. Esto implica que antes de la ocurrencia de un FEN no hay alguna indicación progresiva en el comportamiento de la temperatura máxima de meses o años previos que indique su llegada, lo cual hace casi imposible detectar o pronosticar su ocurrencia usando solo ese parámetro. Los valores de la tendencia oscilan entre 30°C y 34°C, presentando el menor pico en 1999, y los mayores picos en 1997 y 2015. La componente irregular parece aproximadamente estacionaria y sin patrones de tendencia o estacionalidad.

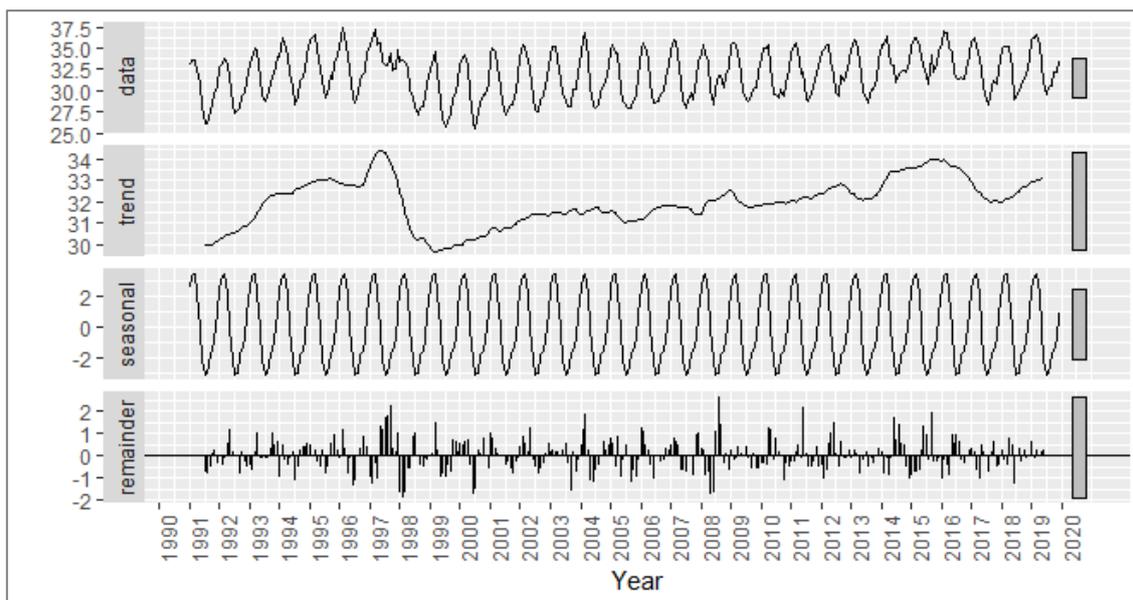


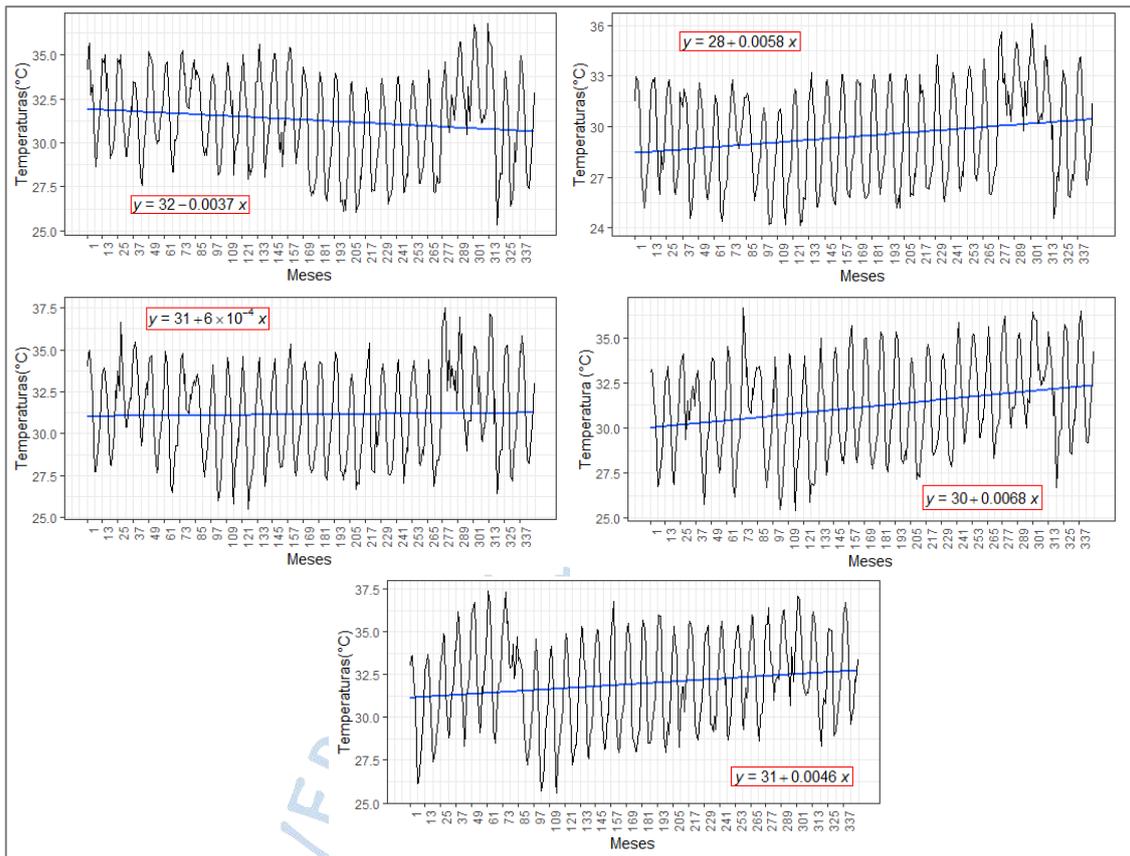
Figura 84. Serie histórica de la temperatura máxima mensual de la estación UDEP (arriba) y sus tres componentes aditivos (1991-2019)

Fuente: Elaboración propia.

Como segundo método, se analizaron las tendencias de las series históricas de temperatura máxima mensual mediante gráficos de regresión lineal. Se presentó una tendencia positiva en casi todas las estaciones, a excepción de la estación Bernal, que presenta una disminución de  $-0.44^{\circ}\text{C}$  por década. El cambio positivo más alto fue en la estación San Miguel, la cual muestra un aumento de  $0.82^{\circ}\text{C}$  por década. A continuación, en la Tabla 34 se presenta la variación anual de cada una de las estaciones.

Tabla 34. Variación de temperatura máxima para cada estación ( $^{\circ}\text{C}/\text{año}$ )

Estación Meteorológica	Anual
Bernal	-0.0444
Chusis	0.0696
Miraflores	0.0072
San Miguel	0.0816
UDEP	0.0552



**Figura 85. Serie histórica de la temperatura máxima mensual de la estación Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Miguel (Al medio) (1972-2019). Abajo, estación UDEP (1991-2019)**

Fuente: Elaboración propia.

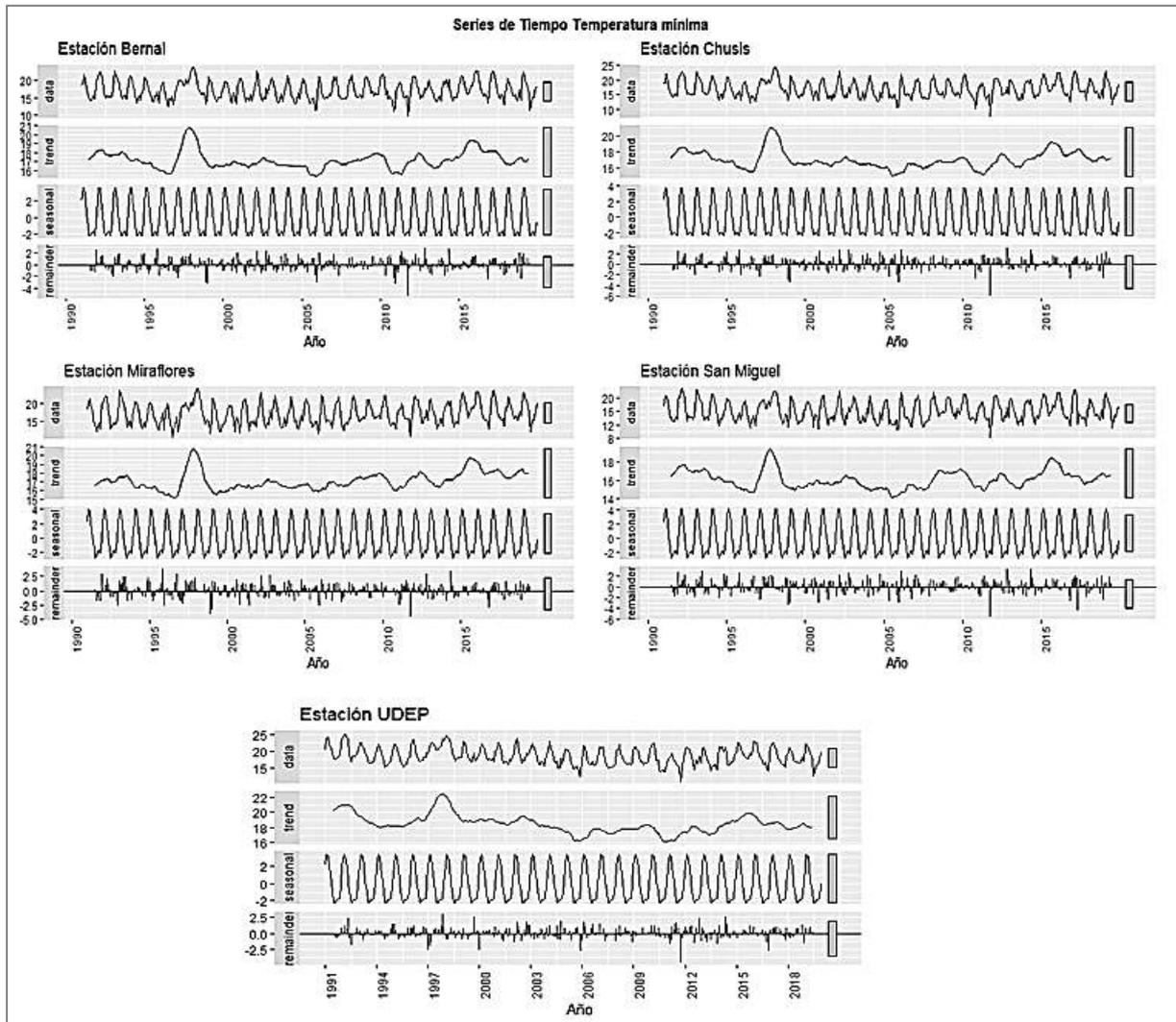
- **Tendencia de la temperatura mínima mensual**

Para este análisis se trabajó con un periodo de años en el que las series históricas de temperatura mínima mensual se encuentren completas. Dicho periodo fue de 29 años, de 1991 hasta 2019.

Se aplicó la Descomposición Clásica Aditiva ya que la variación de cada una de las series de tiempo es relativamente constante a lo largo del tiempo.

Cada gráfica representa la serie histórica y la descomposición aditiva de la temperatura mínima mensual de cada estación meteorológica. En todos los gráficos se puede observar que las tendencias son parecidas entre sí. Se observa en la componente del ciclo de tendencia que no hay una tendencia clara a lo largo de los años porque los valores se mantienen dentro de un mismo rango, a excepción de los años FEN donde la temperatura aumenta abruptamente durante los meses de verano. Esto implica que antes de la ocurrencia de un FEN no hay alguna indicación progresiva en el comportamiento de la temperatura mínima de meses o años previos que indique su llegada, lo cual hace casi imposible detectar o pronosticar su ocurrencia

usando solo ese parámetro. La componente irregular parece aproximadamente estacionaria y sin patrones de tendencia o estacionalidad.



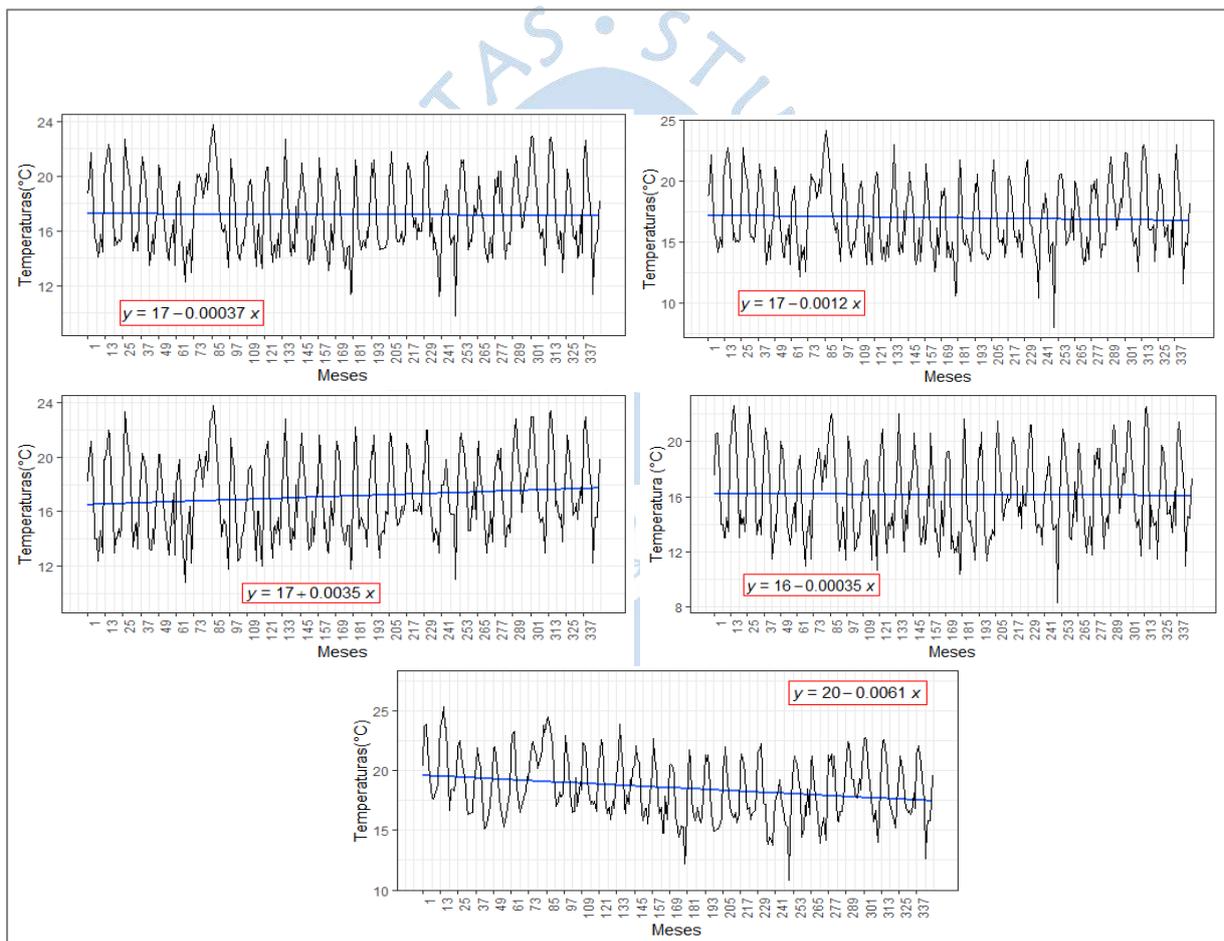
**Figura 86. Serie histórica de la Temperatura mínima acumulada mensual de la estación Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Miguel (Al medio) y sus tres componentes aditivos (1972-2019). Abajo, estación UDEP y sus 3 componentes (1991-2019)**

Fuente: Elaboración propia.

Como segundo método, se analizaron las tendencias de las series históricas de temperatura mínima mensual mediante gráficos de regresión lineal. Se presentó una tendencia negativa en casi todas las estaciones, a excepción de la estación Miraflores, que presenta un aumento de  $0.42^{\circ}\text{C}$  por década. El mayor cambio negativo fue en la estación UDEP, la cual muestra una disminución de  $-0.73^{\circ}\text{C}$  por década. A continuación, en la Tabla 35 se presenta la variación anual de cada una de las estaciones.

**Tabla 35. Variación de temperatura mínima para cada estación (°C/año)**

Estación Meteorológica	Anual
Bernal	-0.0044
Chusis	-0.0144
Miraflores	0.0420
San Miguel	-0.0042
UDEP	-0.0732



**Figura 87. Serie histórica de la temperatura mínima mensual de la estación Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Miguel (Al medio) (1972-2019). Abajo, estación UDEP (1991-2019)**

Fuente: Elaboración propia.

- **Tendencia de la temperatura media mensual**

Para este análisis se trabajó con un periodo de años en el que las series históricas de temperatura máxima mensual se encuentren completas. Dicho periodo fue de 29 años, de 1991 hasta 2019.

Se aplicó la Descomposición Clásica Aditiva ya que la variación de cada una de las series de tiempo es relativamente constante a lo largo del tiempo.

Cada gráfica representa la serie histórica y la descomposición aditiva de la temperatura media mensual de cada estación meteorológica. En el Figura 88 se puede observar que las tendencias son parecidas entre sí, a excepción de la gráfica de descomposición de la estación San Miguel, donde se puede notar una ligera tendencia positiva a partir del año 2013. Se observa en la componente del ciclo de tendencia que no hay una tendencia clara a lo largo de los años porque los valores se mantienen dentro de un mismo rango, a excepción de los años FEN donde la temperatura aumenta abruptamente durante los meses de verano. Se puede observar que antes de la ocurrencia de un FEN no hay alguna indicación progresiva en el comportamiento de la temperatura media de meses o años previos que indique su ocurrencia, lo cual hace casi imposible detectar o pronosticar un fenómeno usando solo ese parámetro. La componente irregular parece aproximadamente estacionaria y sin patrones de tendencia o estacionalidad.



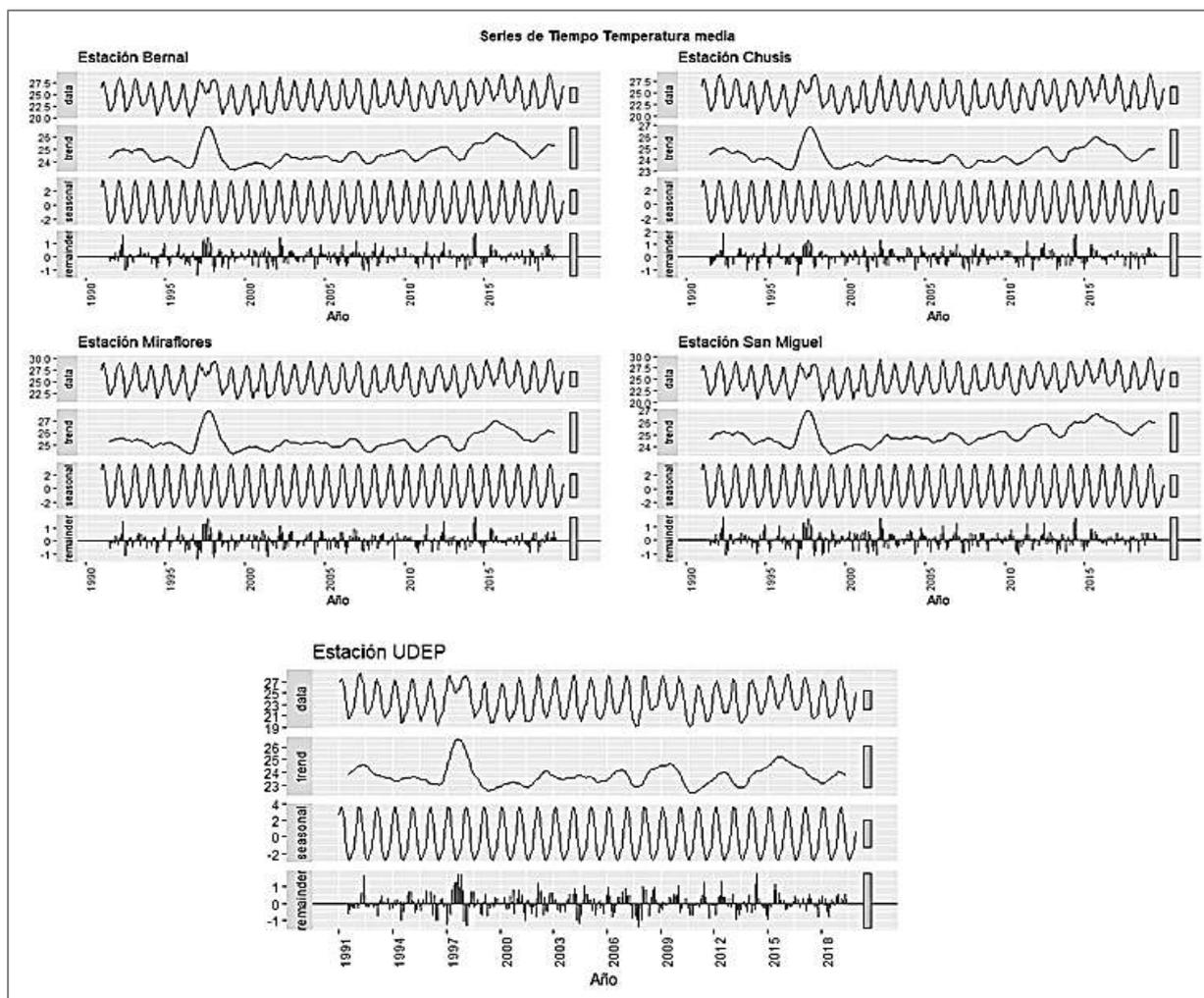


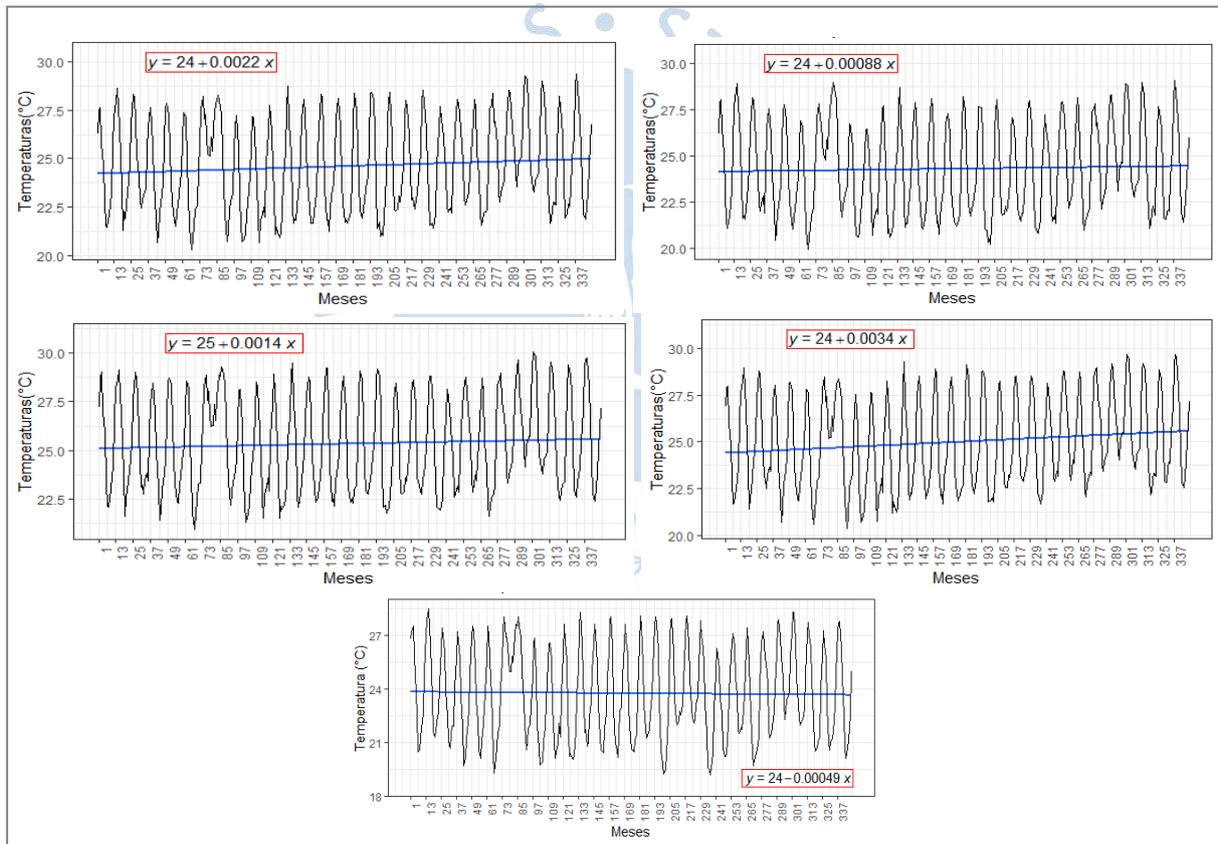
Figura 88. Serie histórica de la Temperatura media acumulada mensual de la estación Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Miguel (Al medio) y sus tres componentes aditivos (1972-2019). Abajo, estación UDEP y sus 3 componentes (1991-2019)

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se realizó la gráfica de la línea de tendencia de la temperatura media para todas las estaciones. Esto con la finalidad de observar la variabilidad interanual de la temperatura media. Las estaciones Bernal, Chusis, Miraflores, San Miguel presentan un comportamiento similar con un aumento de tendencia positiva, con valores de  $+0.26$ ,  $+0.11$ ,  $+0.17$ ,  $+0.41$  °C por década. Mientras que, la estación UDEP muestra una tendencia negativa con un valor de  $-0.05$  °C por década. A continuación, en la Tabla 36 se presenta la variación anual de cada una de las estaciones.

**Tabla 36. Variación de Temperatura media para cada estación (°C/año)**

Estación Meteorológica	Anual
Bernal	0.0264
Chusis	0.0106
Miraflores	0.0168
San Miguel	0.0408
UDEP	-0.0059



**Figura 89. Serie histórica de la temperatura media mensual de la de la estación Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Miguel (Al medio) (1972-2019). Abajo, estación UDEP (1991-2019)**

Fuente: Elaboración propia.

Para todas las interpretaciones de las tendencias climáticas se podría decir que existe un aparente cambio climático, sin embargo, se necesitaría trabajar con series más largas, incluso mayores a las trabajadas en la presente investigación, para poder afirmar esto, ya que solo se puede obtener una señal general del cambio en los valores de tendencia, el cual puede

estar influenciado a distintos tipos de variabilidad natural del clima, tales como la variabilidad interanual y/o la decadal, y no directamente por el cambio climático.

- **Anomalías de la precipitación acumulada**

En la Figura 90 se presentan la serie temporal de las anomalías de las precipitaciones acumuladas anuales de las estaciones analizadas. Se puede observar, que las anomalías positivas más representativas en todas las estaciones son los años 1983, 1998 y 2017, los cuales corresponden a Fenómenos El Niño. Dichas anomalías superan el 100% y se pueden considerar un superávit según lo mencionado antes. Así también, en todas las estaciones se pueden notar valores que califican como un déficit.

A continuación, se muestra en la Tabla 37 un cuadro resumen con los valores mínimos alcanzados en anomalías, además de los valores alcanzados en los eventos El Niño extraordinarios.

**Tabla 37. Valores extremos de anomalías de precipitación para cada estación**

Anomalías de la precipitación acumulada				
Estación	Año 1983	Año 1998	Año 2017	Valor mínimo (Año de ocurrencia)
Bernal	987.3	935.0	442.1	-98.0(1982)
Chusis	813.1	1023.9	646.7	-98.4(1990)
Miraflores	934.3	762.5	278.1	-98.7(1996)
San Miguel	1010.2	661.3	329.9	-97.1(1991)
UDEP	-	914.1	382.5	-98.3(1996)

Además, se pueden observar otros años con anomalías significativas. En la estación Chusis se puede ver que también muestra anomalías positivas en el año 1972 y el año 2016 con 20.6% y 68.9% respectivamente. La estación Miraflores en los años 1992 y 2002 se muestran anomalías positivas con 58.9% y 27.9%. La estación San Miguel en el año 1992 y 2001 presenta anomalías positivas de 67.2% y 54.1%. La estación UDEP solo presenta datos desde 1991 al 2019 y presenta otras anomalías positivas como el año 1992, 1997 y 2002 con 63.2%, 43.2% Y 65.1% respectivamente.

Como se puede ver todas las estaciones presentan comportamientos similares y predominan periodos de déficit, se sabe que Sechura es una zona desértica, lo cual explica que sean más los años con poca lluvia. En cambio, las anomalías positivas suelen ser bastante

mayores alcanzando un valor de 1000% en algunos casos, pero esto solo se da en un evento de El Niño extremo.

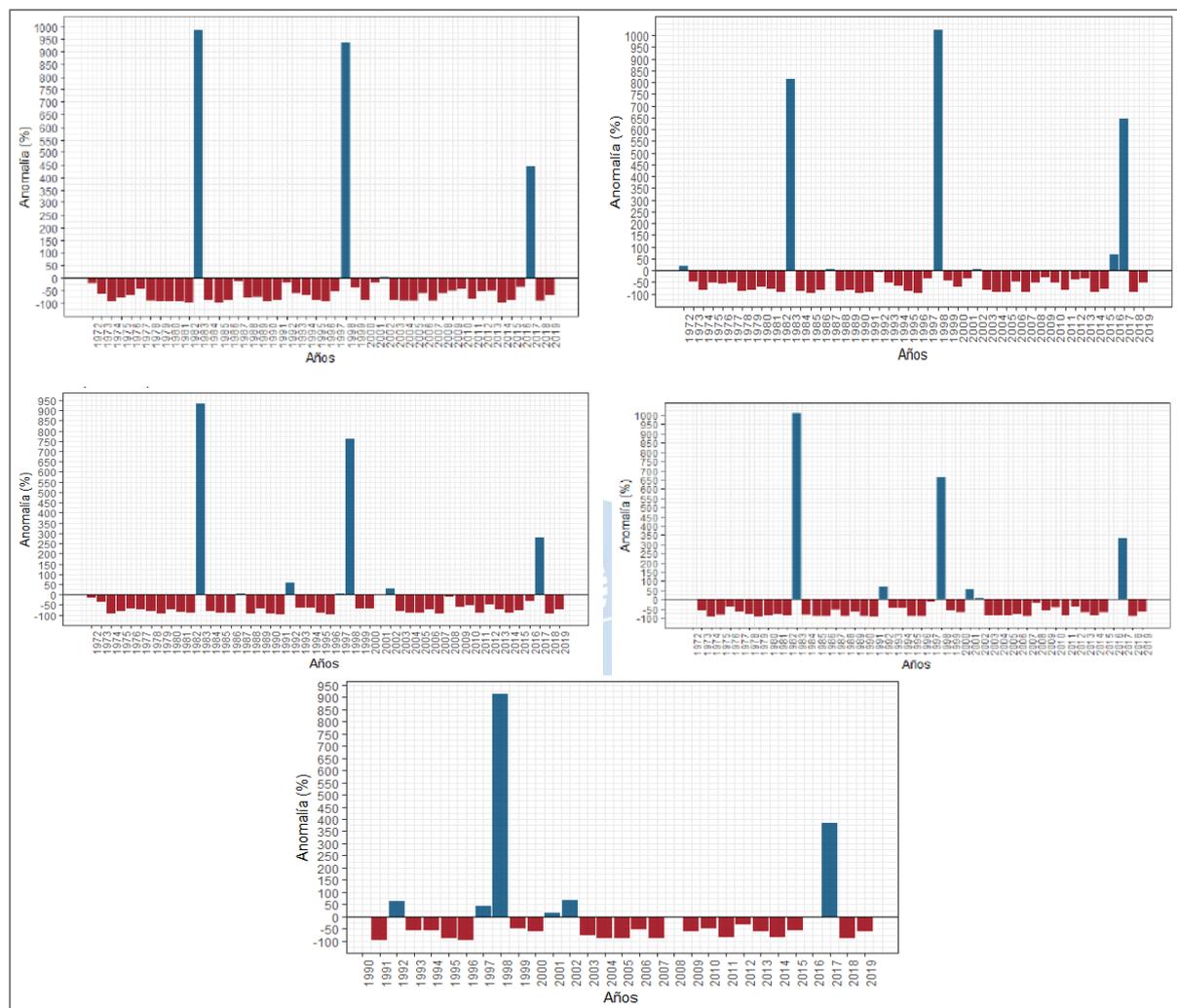


Figura 90. Variabilidad interanual de las precipitaciones acumuladas expresada por sus anomalías en estaciones Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Miguel (Al medio) (1972-2019). Abajo, estación UDEP (1991-2019)

Fuente: Elaboración propia.

- **Anomalías de la temperatura máxima**

En la Figura 91 se representa la variabilidad de la temperatura máxima mediante las anomalías de esta misma para cada estación. En los años de ocurrencia de Fenómenos El Niño extremos se puede observar anomalías positivas, sin embargo, estas ocurren en los años anteriores al periodo más lluvioso del Fenómeno. Los años 1997 presentan anomalías positivas, cabe resaltar que son años dentro del periodo de ocurrencia de Fenómenos El Niño. También, los años 1995 y 1996 en las estaciones Bernal y UDEP muestran valores positivos, así también, los años 2014 y 2015 presentan valores positivos altos en todas las estaciones. Se debe tener en cuenta que el año 2014 y 2015 en la zona 3.4 ocurrió un Fenómeno El Niño.

Entre abril y julio del año 1997 se registraron incrementos significativos de la temperatura del aire llegando a niveles superiores a sus patrones normales, ocasionando inviernos más cálidos de la historia peruana (Corporación Andina de Fomento).

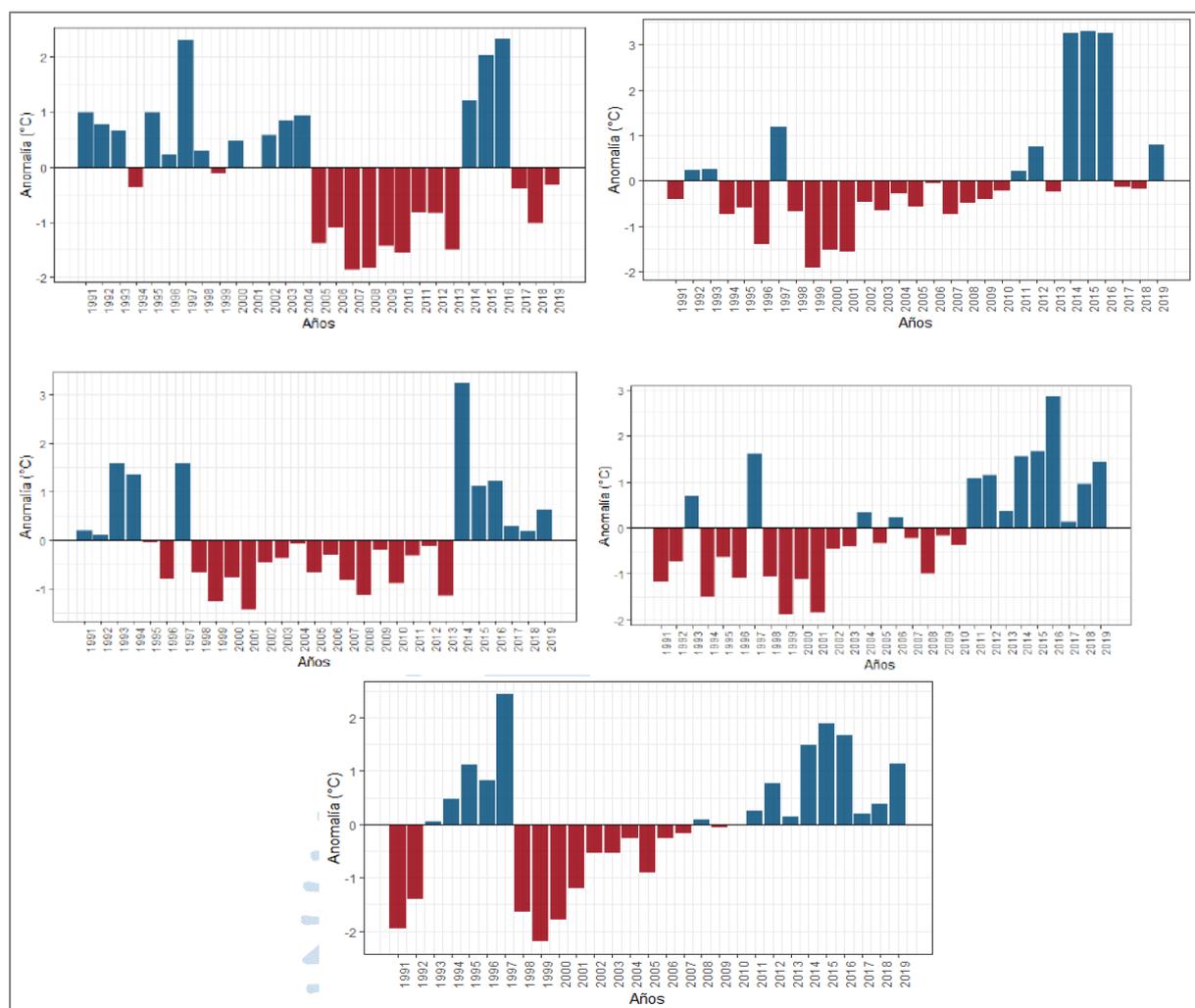
Entre enero del 2014 y julio del 2015 se registraron anomalías positivas de la temperatura máxima de hasta 3.4°C en la estación Chusis (ENFEN, 2015).

Además, en los años de mayor precipitación en la ocurrencia de un evento extraordinario, las temperaturas máximas suelen estar por debajo de lo normal en algunos casos o con anomalías positivas no tan significativas en otras estaciones. Por otro lado, las estaciones UDEP y San Miguel presentan anomalías positivas incluso en los años 2011 al 2016.

A continuación, en la Tabla 38 se muestra un resumen con los valores observados en los eventos Niño, los máximo y mínimos de cada estación.

**Tabla 38. Valores extremos de anomalías de temperatura máxima para cada estación**

Anomalías de la temperatura máxima				
Estación	Año 1998	Año 2017	Valor mínimo (Año de ocurrencia)	Valor máximo (Año de ocurrencia)
Bernal	0.3	-0.4	-1.9(2007)	2.3(2016)
Chusis	-0.7	-0.1	-1.9(1999)	3.3(2015)
Miraflores	-0.7	0.3	-1.4(2001)	3.2(2014)
San Miguel	-1.1	0.1	-1.9(1999)	2.9(2016)
UDEP	-1.6	0.2	-2.2(1999)	2.4(1997)



**Figura 91. Anomalías de temperatura máxima de la estación en estaciones Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Miguel (Al medio) (1972-2019). Abajo, estación UDEP (1991-2019)**

Fuente: Elaboración propia.

- **Anomalías de la temperatura mínima**

En la Figura 92 se representa la variabilidad de la temperatura mínima mediante las anomalías de esta misma para cada estación. Al igual que la temperatura máxima, se puede observar que desde el año 2014 al 2016 de presentan anomalías positivas en todas las estaciones, además de los años 1996 y 1997. Por otro lado, los años 1991 y 1992 también presentan anomalías positivas con excepción de la estación Miraflores. Se debe recordar que el año 1992 ocurrió un evento El Niño con magnitud moderada.

Según estudios realizados, a partir de mayo del año 1997 la temperatura mínima del aire comenzó a presentar anomalías positivas en la cota norte del Perú, registrándose rangos anómalos significativos en los meses de invierno (Corporación Andina de Fomento).

A continuación, se presenta en la Tabla 39 un cuadro resumen con los datos máximos, mínimos y los valores obtenidos en un evento El Niño extraordinario.

Tabla 39. Valores extremos de anomalías de temperatura máxima para cada estación

Anomalías de la temperatura mínima				
Estación	Año 1998	Año 2017	Valor mínimo (Año de ocurrencia)	Valor máximo (Año de ocurrencia)
Bernal	1.5	0.9	-1.5(1996)	2.4(1997)
Chusis	1.9	1.3	-1.9(2005)	2.6(1997)
Miraflores	0.8	1.3	-1.8(1996)	2.3(2015)
San Miguel	0.2	0.3	-1.9(2005)	2.3(1997)
UDEP	1.9	0.2	-2.1(2011)	3.0(1997)

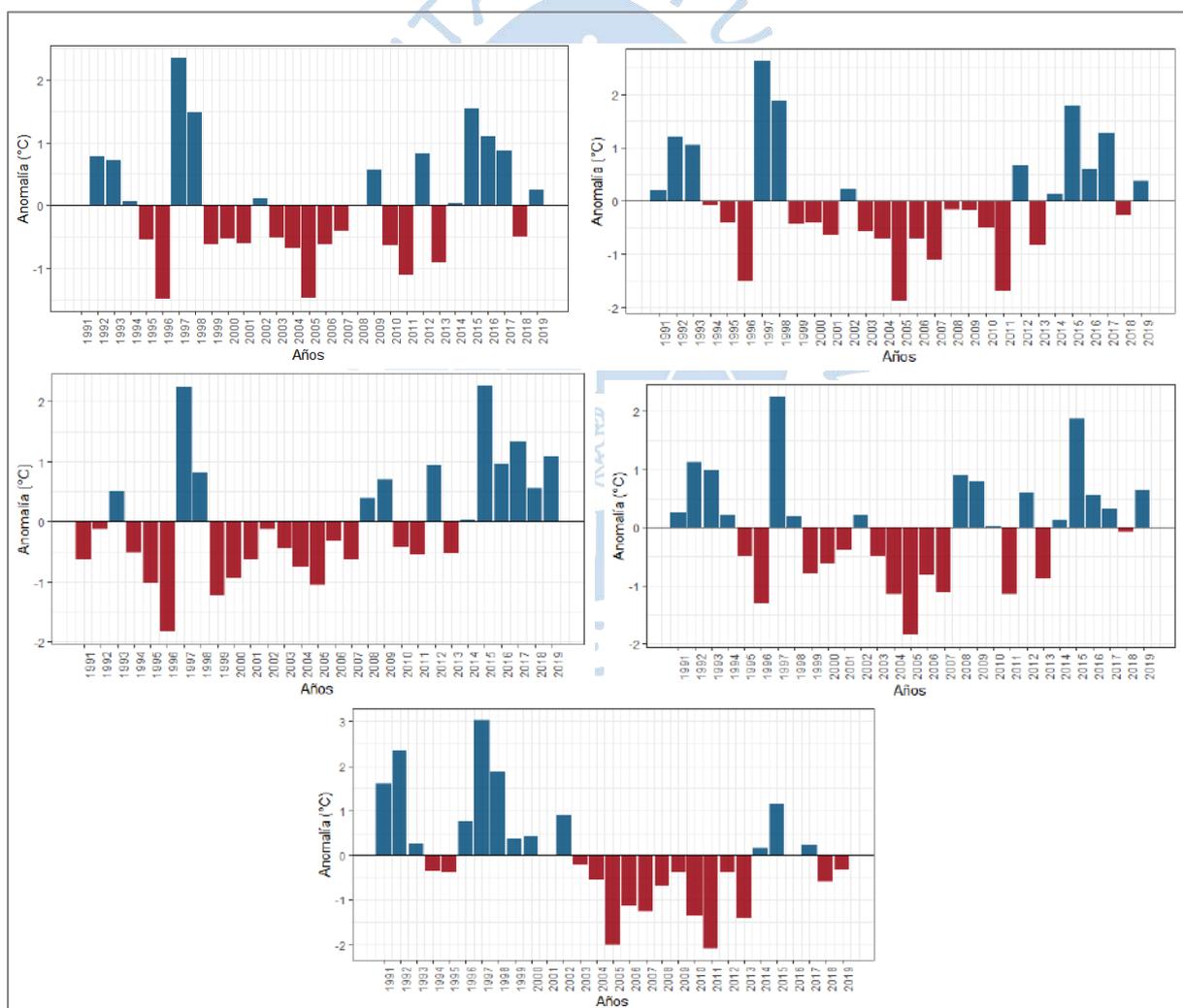


Figura 92. Anomalías de temperatura mínima en estaciones Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Miguel (Al medio) (1972-2019). Abajo, estación UDEP (1991-2019)

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 Monitoreo de las condiciones oceánicas (Litoral)

Según Takahashi (2017) , la temperatura de la superficie del mar (TSM) es una de las principales variables climáticas, ya que determina en gran parte el estado instantáneo de la atmósfera, pero también permite las predicciones con meses de anticipación, por ejemplo, de precipitaciones (la atmósfera por sí sola no tiene “memoria”). Por esto, se utiliza la TSM como la variable básica para caracterizar El Niño y La Niña (Takahashi K. , Estimación de la distribución de la temperatura superficial del mar, 2017).

Para la presente investigación se obtuvieron datos de la temperatura superficial del mar (TSM) y anomalías a partir la base de datos de la Universidad de Piura, la cual está basada en la estación oceanográfica de Paita, perteneciente a la red de estaciones mencionada en el 1.3.5.3.

La data de TSM y anomalías se encontró en frecuencia mensual desde el año 1963 al 2019. Además, se encontró en frecuencia diaria el promedio de la temperatura máxima, mínima y media desde el año 1985 al 2014. Así también, se encontró data diaria del año FEN 2017. Dicha información ya contaba con un control de calidad realizado por la institución, sin embargo, se realizó una inspección visual para asegurar la calidad de esta. Posteriormente fue utilizada para analizar la variabilidad climática a partir del comportamiento de la temperatura del mar en la costa peruana. Se escogió la estación de Paita ya que era la más cercana y esta zona presenta condiciones climáticas similares a la ciudad de Sechura, además de encontrarse dentro de la región Niño 1+2 frente a la costa peruana, en dicha región se mide anomalías de la TSM para caracterizar El Niño y la Niña.

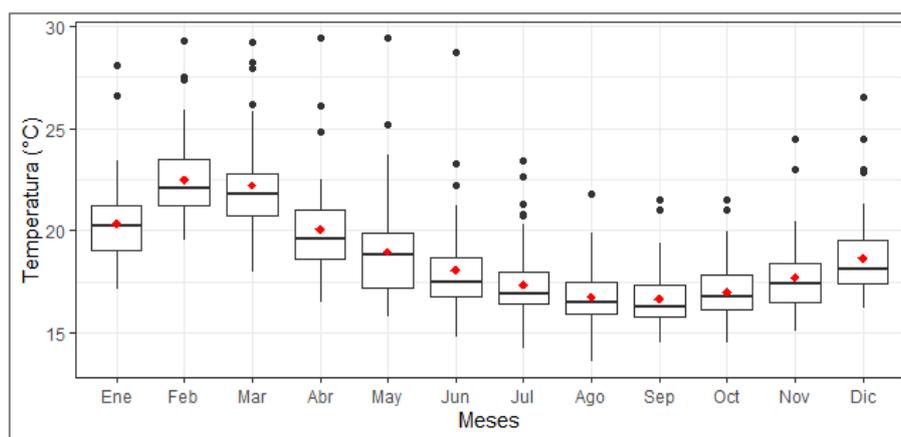
### 4.2.1 Análisis de la TSM de la estación Paita

Para analizar el comportamiento de la TSM se realizaron gráficas con las distintas frecuencias y periodos de tiempos con los que se cuenta.

Mediante el Figura 93 de Boxplot de la TSM desde 1963 al 2019 (57 años), se analizó el comportamiento que presenta la TSM en los 12 meses del año. Se puede notar que los meses más fríos suelen ser los de junio, julio agosto y setiembre. Además, en los meses cálidos como diciembre, enero, febrero y marzo, se muestran algunos atípicos que se puede deber a la presencia de Fenómenos El Niño.

Al analizar los valores atípicos, notamos que, en el mes de enero el valor máximo fue de 28.1 °C en el año 1998, donde ocurrió un FEN extremo, mientras que el otro valor atípico es de 26.6 °C, el cual pertenece al año 1983, año Niño con intensidad extraordinaria según la clasificación de SENAMHI mencionada en el apartado 3.4.2 .En el mes de febrero se muestran 3 atípicos de 26.6 °C, 28.1°C y 23 °C, los cuales pertenecen a los años 1983, 1998 y 2017 respectivamente. Así también, para el mes de marzo se presentan valores anómalos de 28.2 °C, 29.2 °C y 27.9 °C para los años 1983, 1998 y 2017 respectivamente, además en el año 1992 se presenta una temperatura de 26.2 °C, lo cual, si revisamos la clasificación de SENAMHI en

el apartado 3.4.2, nos muestra que en este año ocurrió un Fenómeno moderado. Hasta el mes de mayo los atípicos son los años 1998 y 1983, y en algunos meses se presenta en el año 1972. A partir del mes de junio se presenta como atípico el año 1997, por ejemplo, en este mes, presenta un valor de 23.3°C, mientras que los años 1983 y 1972 siguen siendo años con valores fuera del rango. En el mes de agosto, se presenta un valor de 21.8 °C como único atípico. A partir del mes de octubre hasta diciembre se hace presente el año 1983, junto al año 1997, los cuales presentan valores fuera del rango. Así también, se puede notar que no hay valores atípicos por debajo del rango mínimo.



**Figura 93. Boxplot mensual de la TSM de la estación Paita (1963-2019)**

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra la , Tabla 40 el análisis descriptivo de la TSM, presentando datos media, mediana, percentiles y el rango intercuartil (RIC) para cada mes.

Se puede notar que el RIC es pequeño, sin embargo, en los meses de verano de diciembre a mayo es un poco más grande, por lo cual en estos meses hay mayor variabilidad La TSM varía desde valores de 17 °C aproximadamente hasta los 22°C.

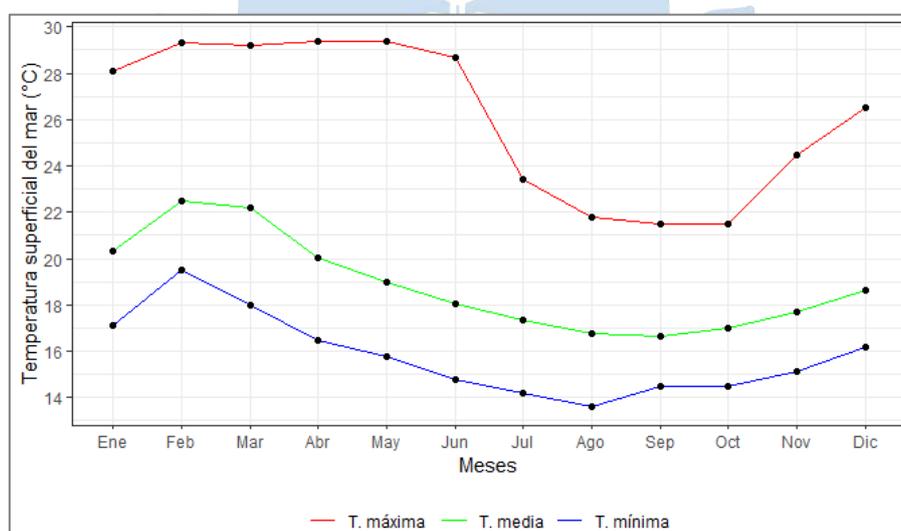
**Tabla 40. Estadísticos Descriptivos de la TSM Paita**

E.desc.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
N	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
Min	17.1	19.5	18	16.5	15.8	14.8	14.2	13.6	14.5	14.5	15.1	16.2
Q1	19	21.2	20.7	18.6	17.2	16.8	16.4	15.9	15.8	16.1	16.5	17.4
Mediana	20.2	22.1	21.8	19.6	18.8	17.5	16.9	16.5	16.3	16.8	17.4	18.1
Q3	21.2	23.5	22.8	21	19.9	18.7	18	17.5	17.3	17.8	18.4	19.5

Max	28.1	29.3	29.2	29.4	29.4	28.7	23.4	21.8	21.5	21.5	24.5	26.5
RIC	2.2	2.3	2.1	2.4	2.7	1.9	1.6	1.6	1.5	1.7	1.9	2.1
Media	20.3	22.5	22.2	20.1	19	18.1	17.4	16.7	16.6	17	17.7	18.7

Para dar una idea de los valores extremos y promedios de cada mes a lo largo del tiempo, se muestra la Figura 94, el cual muestra datos en frecuencia mensual desde el año 1963 al 2019 (30 años). El valor mínimo es de 13.6, el cual, de acuerdo con el gráfico, pertenece al mes de agosto. Por otro lado, el máximo valor es 29.4, alcanzado en los meses de abril y mayo del año 1983, el cual ocurrió en un fenómeno extremo.

Además, en la gráfica se puede notar que los valores extremos de temperatura máxima se mantienen en los meses de verano, como ya se vio, estos pertenecen a años Niño. Como se puede observar, el promedio se acerca más a la gráfica de temperatura mínima, lo cual muestra que no se ha llegado a valores extremadamente bajos, a pesar de que sabemos que en el Perú ocurre un Fenómeno llamado La Niña, este no ha presentado ocurrencias extremas. Por el contrario, según la gráfica mostrada, los datos de Fenómenos el Niño sí han llegado a temperaturas máximas extremas.



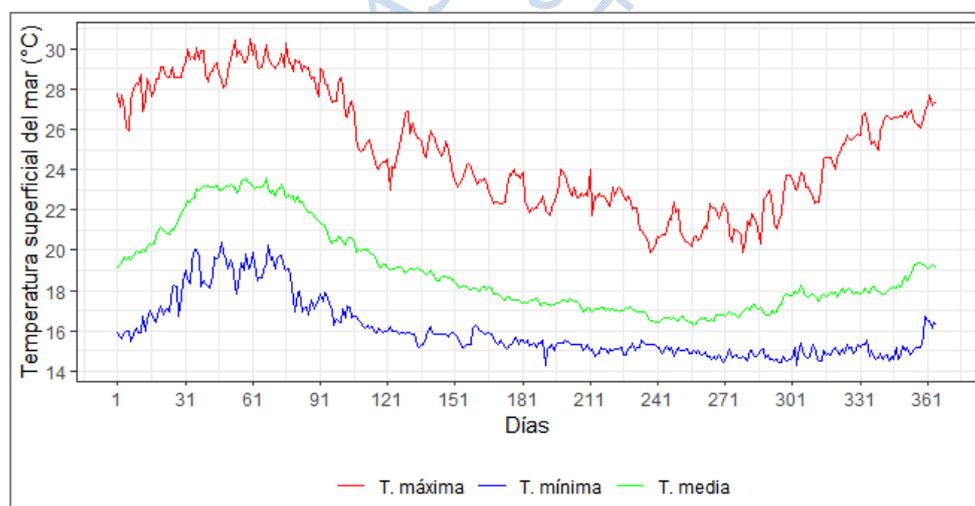
**Figura 94. TSM mensual máxima, media y mínima de la estación Paita (1963-2019)**

Fuente: Elaboración propia.

En el Figura 95 se muestra en frecuencia diaria la temperatura superficial del mar mínima, máxima y promedio, desde el año 1985 al 2014. Aquí se puede notar que en los primeros días del año la TSM suele ser alta, lo cual es debido a la estación Verano, que tiene

el efecto de aumentar la temperatura del mar. Este periodo comprende los días 151 al 300, y los últimos días del año con el comienzo del verano el mes de diciembre.

La temperatura promedio diaria más alta se da en los primeros días del año y se ha registrado un valor de 23.6 °C aproximadamente, llegando en su temperatura máxima a aproximadamente 30.5 °C, lo cual se mantiene casi hasta el mes de marzo, para descender en el mes de abril. Como se observó antes, estos valores extremos se deben a la presencia de un Fenómeno El Niño. La temperatura más baja se alcanza en los días 181 al 241 aproximadamente, lo cual abarca los meses de julio y agosto y suele alcanzar los 14.0 °C aproximadamente, en los días 191 y 303. Por otro lado, la temperatura promedio suele alcanzar los 16.3 °C aproximadamente. Así también, notamos que el comportamiento de la curva promedio diaria es similar a la curva de temperatura mínima.



**Figura 95. TSM máxima, mínima y media de la estación Paita (1985-2014)**

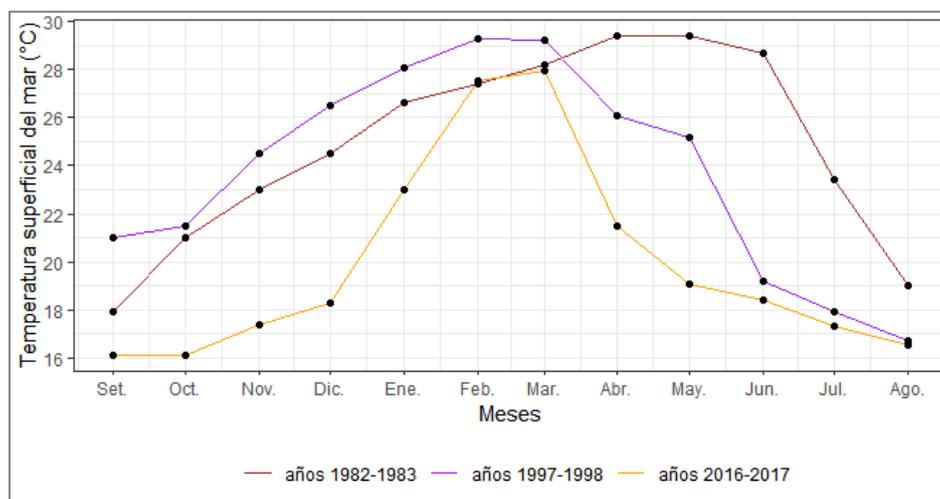
Fuente: Elaboración propia.

#### **4.2.2 Análisis de la TSM de la estación Paita en los años Niño**

Al analizar, de acuerdo con el año hidrológico, los años en donde ocurrieron los Fenómenos El Niño de mayor intensidad podemos notar en la Figura 96 que los meses de mayor temperatura son febrero y marzo. El Fenómeno El Niño del año 1982-1983 la TSM aumenta progresivamente hasta llegar a su máximo en el mes de abril e incluso se mantiene con un valor alto hasta el mes de junio. El Fenómeno El Niño de 1997 -1998 el comportamiento a inicios del evento es similar, sin embargo, este tuvo sus valores máximos en febrero y marzo, para luego descender en abril.

El Niño Costero del año 2016-2017 presenta un comportamiento distinto, ya que en diciembre se muestran temperaturas bajas de casi 19.0 °C. Para enero del 2017 las temperaturas alcanzaron un promedio de 27.0 °C aproximadamente, lo cual es un aumento

bastante anómalo. Estas altas temperaturas se mantienen hasta marzo de ese año, para luego descender en abril. Según el ENFEN (2017), este fenómeno tiene un comportamiento similar al FEN del año 1925, sin embargo, en la presente investigación no se cuenta con datos de esas fechas.



**Figura 96. TSM de la estación Paita durante los años hidrológicos 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017**

Fuente: Elaboración propia.

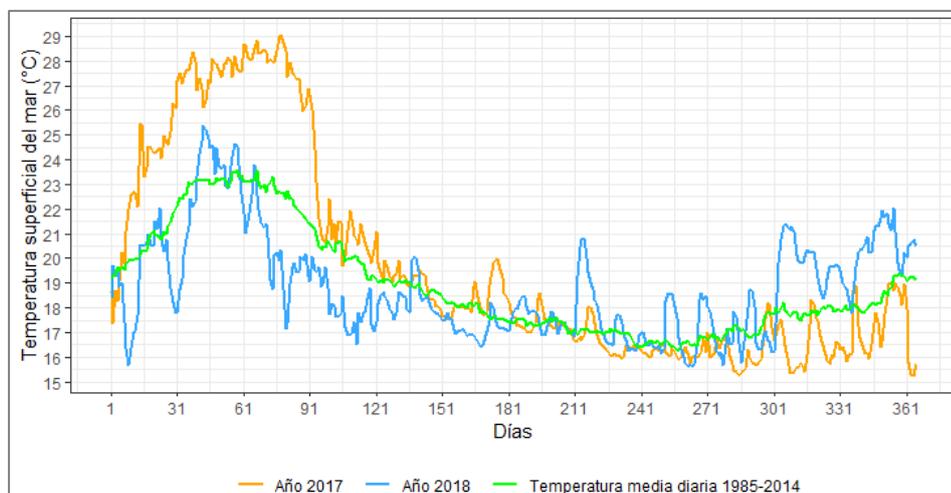
Si se analiza en frecuencia diaria el comportamiento de la TSM durante el niño costero del año 2017, se puede notar que las temperaturas llegan a aproximadamente a un máximo de 29.0 °C en el día 78, mientras que, en el año 2018, un año No Niño, el valor máximo fue de 25.4 °C en el día 43 y para la temperatura promedio del periodo 1985 al 2014 fue de 23.6°C en el día 58. Además, en el día 78 el año 2018 llegó a una temperatura de 20.3 °C y la temperatura media tiene un valor de 22.6 °C. Se puede notar por los datos y la Figura 97 que el año 2018 tiene un comportamiento similar a los datos de temperatura media. Los valores máximos en un año sin evento Niño se dan en el mes de febrero aproximadamente, mientras que el año 2017 se dio en marzo y fue un valor mucho mayor.

También, la temperatura a principios del año 2017 era de 19.0 °C aproximadamente, sin embargo, a mediados del mes de enero subió abruptamente, alcanzando los 25.0 °C, para luego mantenerse en los 28.0 °C a 29.0 °C durante los días los meses de febrero y marzo. Como se puede observar, durante un año No Niño la temperatura en los primeros días del año es menor, oscilando entre los 19.0 °C y los 24.0 °C y descienden rápidamente a mediados del mes de marzo.

Según el Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN EL NIÑO COSTERO (2017):

En enero de 2017 la temperatura de la superficie del mar se incrementó abruptamente, contra los pronósticos del ENFEN y de los modelos climáticos internacionales, hasta alcanzar valores por encima de 26°C en varios puntos de la costa

norte, mientras que en el Pacífico ecuatorial central aún ocurría la transición de La Niña a neutral.



**Figura 97. Temperatura superficial del mar diaria de los años 2017 y 2018 en comparación con la Temperatura superficial del mar diaria del periodo 1985 - 2014**

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.2.3 Análisis de Tendencia de la TSM**

Como parte del estudio del comportamiento de la temperatura superficial del mar, se presenta el análisis de tendencia de las series temporales mensuales de la temperatura superficial del Mar desde el año 1963 al 2019, un periodo de 57 años. Este análisis fue realizado utilizando la misma metodología aplicada en el apartado 4.1.4, donde se analiza las tendencias de la precipitación y la temperatura del aire.

En la Figura 98 se observa que no hay una tendencia clara a lo largo de los años, los valores se mantienen dentro de un mismo rango. Por otro lado, se nota en la gráfica de la serie los años de eventos Niño, 1983, 1997 y 2017. Los eventos 1983 y 1997 se notan con mayor magnitud, esto porque tuvieron una mayor duración y como se vio en los gráficos anteriores, la TSM sube progresivamente a lo largo de los meses de verano. Así también, antes de la ocurrencia de un fenómeno no hay alguna indicación del suceso, es decir, no hay una tendencia a aumentar la temperatura. El aumento de la TSM se da instantáneo en el periodo de ocurrencia del fenómeno, lo cual hace casi imposible detectar o pronosticar la ocurrencia de fenómenos El Niño con muchos años de anterioridad.

Por otro lado, se observa la línea de tendencia (ver Figura 99) en aumento de forma positiva con  $+0.17$  °C por década. Además, la variabilidad anual se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 41. Variación de la Temperatura superficial del mar (°C/año)

Estación Meteorológica	Anual
Paita	0.0168

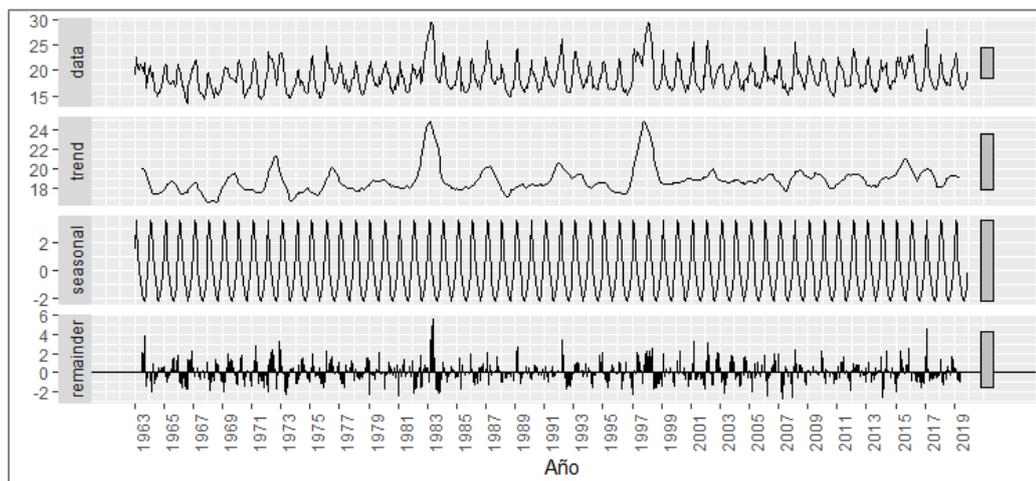


Figura 98. Descomposición temporal de la serie histórica de la temperatura superficial del mar en Paita durante el periodo 1963 hasta 2019

Fuente: Elaboración propia.

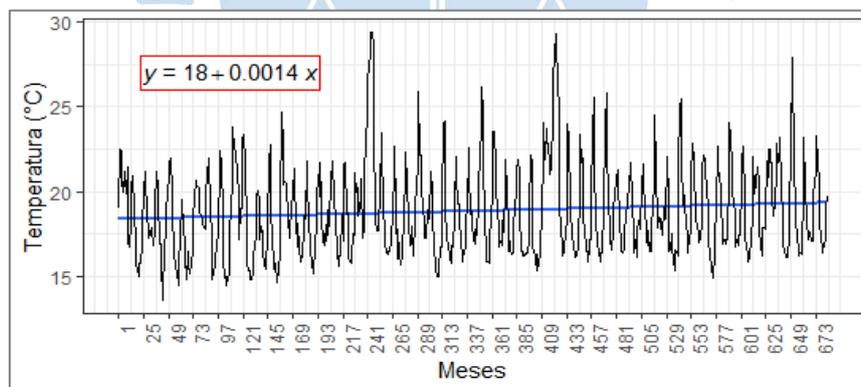


Figura 99. Serie histórica de la temperatura superficial del mar de la estación Paita y su tendencia (1991-2019)

Fuente: Elaboración propia.

Para ambas interpretaciones de las tendencias climáticas, y teniendo en cuenta que es un periodo largo de 57 años, se podría decir que existe un aparente cambio climático, sin embargo, se debe tener en cuenta que esta variación puede estar asociada a distintos tipos de variabilidad natural. Para afirmar dicho cambio se necesitarían series como un mayor rango de años.

#### 4.2.4 Análisis del comportamiento de la precipitación frente a la TSM

Según una investigación realizada por el IGP para que ocurra precipitaciones la superficie del mar debe calentarse hasta superar una temperatura crítica ( $T_{crit}$ ) (Ramos, 2015). La relación observada entre la lluvia y la TSM es no lineal como se evidencia en la Figura 100, por ello es necesario establecer la ecuación del Modelo Físico Empírico.

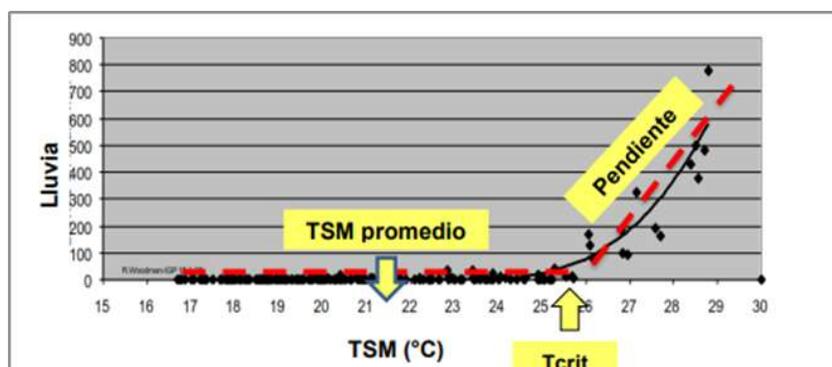


Figura 100. Lluvias mensuales en Piura vs Temperatura Superficial del Mar frente a Lobos

Fuente: Ramos (2014).

En un informe del IGP, Ramos (2015) menciona lo siguiente:

La relación entre la lluvia (PP) y la TSM se puede presentar mediante un “Modelo Físico Empírico” (MFE), este se considera un modelo no lineal. El modelo tiene otro parámetro que se denomina “a”, el cual representa el aumento de la lluvia por cada grado de aumento de la TSM por encima de  $T_{crit}$ . Para Piura se estimó un  $T_{crit}$  de  $26^{\circ}$ , mientras que “a” indica un aumento de 223 mm/mes más de lluvia por cada grado en que la TSM excede los  $26^{\circ}\text{C}$  (ver Figura 101).

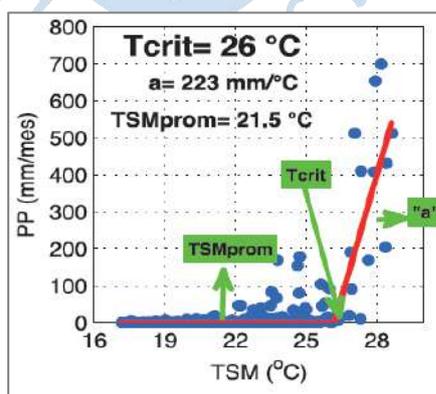


Figura 101. Modelo empírico de Lluvia mensual vs temperatura superficial del mar

Fuente: Ramos (2015).

A continuación, se muestra dicha relación entre lluvia y TSM para las estaciones analizadas. En donde se puede identificar Tcrit similares. Para el estudio hecho por Ramos (2014), se tiene en lo siguiente:

$$PP = \begin{cases} 0, & TSM < Tcrit \\ a * (TSM - Tcrit), & TSM \geq Tcrit \end{cases}$$

Para ello, Ramos (2014) estima un vector llamado Tcrit a partir de los datos observados de lluvia y temperatura, además obtiene un vector con la misma cantidad de valores que el vector Tcrit. Una vez hecho esto, procede a hallar el valor para PP siguiendo la condición antes mencionada. Con estos valores obtiene una nueva recta, la cual tiene un valor t crítico y una determinada pendiente, la recta punteada en color rojo que se puede ver en la Figura 102. Para esto, dicha investigación se utilizaron diversos modelos climáticos globales (GCM), que fueron evaluados estadísticamente, mediante el valor del RMSE, con los cuales se intentó graficar y dar validez al modelo empírico que relaciona la temperatura superficial del mar y la precipitación.

En la presente investigación se graficó para cada estación la relación entre la precipitación y la TSM, para lo cual se trabajó en base a los datos obtenidos en los modelos de la investigación de Ramos (2014). Con dichos modelos se tabuló para así encontrar los valores de la pendiente y la temperatura crítica en cada estación. Con dichos valores se pudo graficar la línea punteada roja que ejemplifica el modelo empírico. Además, en la Figura 102, se puede observar aproximadamente el valor de la TSM en el cual la lluvia se encuentra por encima de los 50 mm y la línea roja muestra el valor del Tcrit, en donde los valores de lluvia sobrepasan los 200 mm, o incluso pueden dar valores de eventos El Niño.

Se obtuvo como resultado que para la estación Bernal el Tcrit es de 24.8 °C con una pendiente de 74.0, para Chusis el Tcrit es de 24.5 °C con una pendiente de 51.2, para Miraflores se tiene un Tcrit 25.7 °C y una pendiente de 141.5, la estación San Miguel muestra un Tcrit de 25.6 °C y una pendiente de 101.5, por último, la estación UDEP tiene un Tcrit de 25.8 °C con una pendiente de 141.6. Se puede ver que para las estaciones de Piura la pendiente es mayor a las de Sechura, también se debe a que la cantidad de lluvia es mayor en algunas ocasiones como se ha visto anteriormente. Sin embargo, la temperatura crítica oscila entre los 24.5 °C y 25.8 °C, muy cercano a lo que estima el modelo empírico, un valor de 26 °C. Además, para todas las estaciones el valor mínimo de TSM en donde empieza la lluvia oscila entre 20 y 21 °C aproximadamente (línea verde).

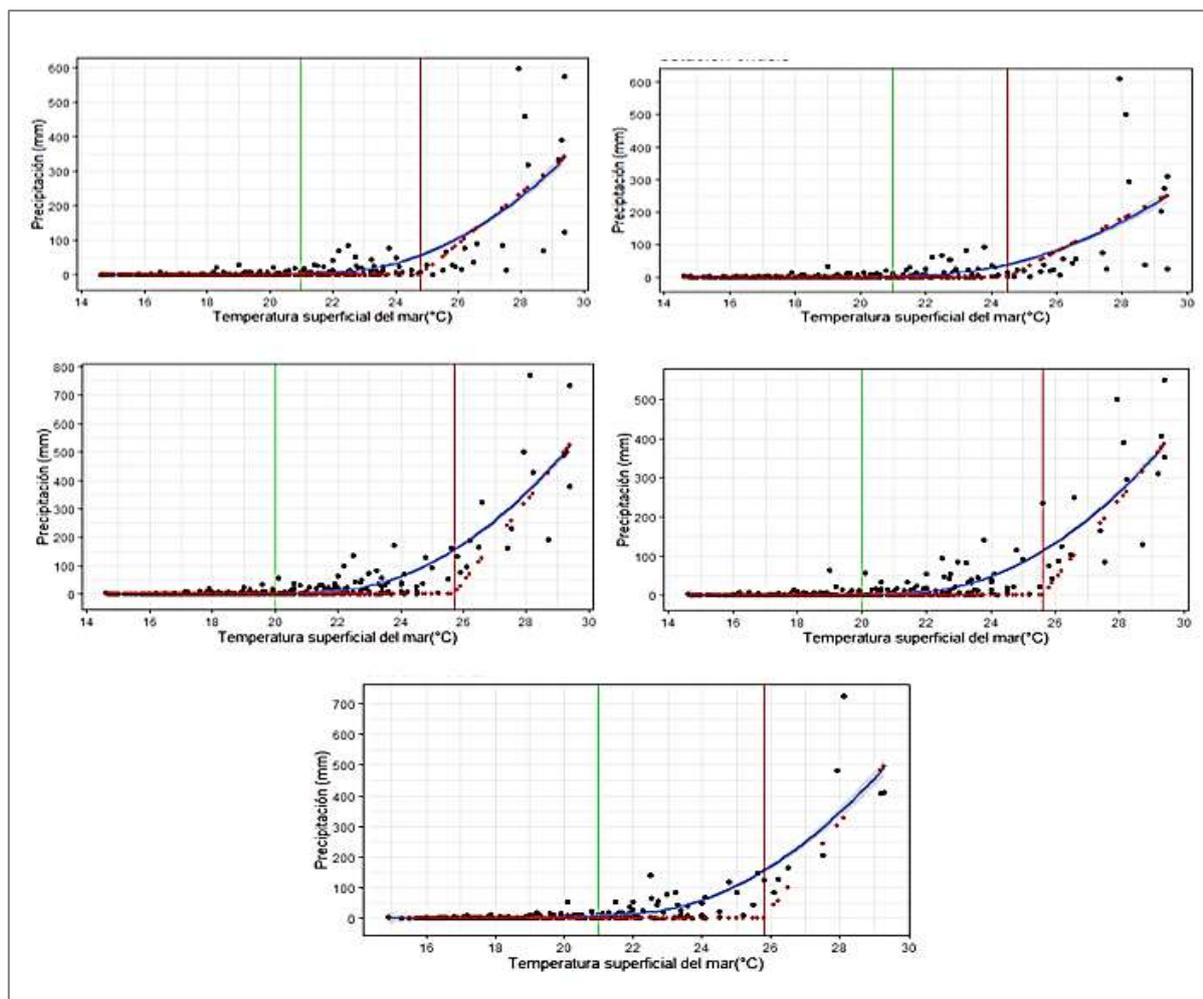


Figura 102. Modelo empírico de Lluvia mensual en las estaciones vs temperatura superficial del mar de Paita. Bernal, Chusis (arriba), Miraflores, San Miguel (Al medio) (1972-2019). Abajo estación UDEP (1991-2019).

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.5 Anomalías mensuales de la TSM

A continuación, en las siguientes gráficas se muestra una representación de cómo se mueve la precipitación con respecto a las anomalías de la TSM. Como se vio en el 3.4.2, ENFEN utiliza un índice llamado ICEN para caracterizar la presencia de El Niño y La Niña basado en anomalías de la TSM, donde un rango entre  $-1.0$  y  $+0.4$  se considera neutro, mayor a  $+0.4$  es considerado Niño en sus diferentes categorías.

Se analiza las anomalías de la TSM con respecto a la precipitación ocurrida en las diferentes estaciones meteorológicas, donde se puede notar que, a mayores anomalías, las precipitaciones aumentan. Las siguientes Figuras muestran el comportamiento de la TSM y la lluvia, donde se observa que los años Niño 1983, 1998 y 2017 presentan mayores anomalías.

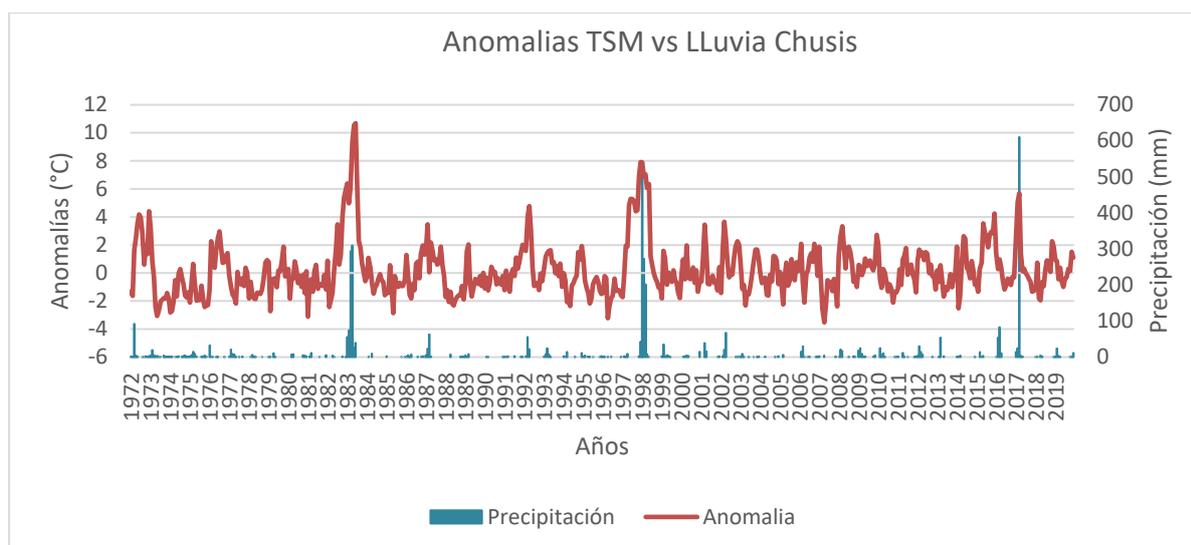
La mayor anomalía alcanzada es del año 1983, en el mes de mayo, con un valor de  $+10.5$  °C aproximadamente. En ese año se presentó una precipitación de 300 mm en la

estación de Chusis. 573.1 mm en Bernal, 732.2 mm en Miraflores y 549.7 mm en San Miguel. Para todas las estaciones, a excepción de Miraflores y UDEP, se puede observar que en el año 2017 la precipitación fue mayor a pesar de ser menor la anomalía. Con una anomalía de +5.7 en el mes de marzo, Chusis presenta 610.3 mm en precipitación, Bernal 597.2 mm y San Miguel 501.0 mm. Se debe recordar que, en dicho año, no hubo temperaturas altas durante muchos meses como en los demás eventos, todo se concentró en los meses de enero, febrero y marzo, e incluso no se había alertado de un Fenómeno el Niño. Según Takahashi (2017), en el año 2017 el Pacífico Central experimentó un leve calentamiento, sin embargo, en el Pacífico Oriental si hubo calentamiento de aproximadamente 1.2 °C y permaneció así el resto del verano (IGP, 2018). Esto ha ocurrido previamente en el año 1891 y 1925. Este evento, conocido como Niño Costero, ocasionó lluvias, inundaciones y un masivo daño a la infraestructura pública y privada de Perú y Ecuador (IGP, 2018).

Un dato importante es que el año 2014, científicos y centros de pronóstico pusieron en alerta sobre pulsos de viento del oeste sobre el Pacífico Occidental, los cuales son conocidos por desencadenar eventos EL Niño y que producen el incremento de la TSM algunos meses más tarde (IGP, 2018). Inclusive, este año se predijo un fenómeno El Niño comparable con El Niño extraordinario de 1997. Sin embargo, la TSM en la zona 3.4 y 1+2 no superaron +0.7°C y +0.2°C respectivamente, por lo cual es conocido como un Niño Fallido (IGP, 2018). Por otro lado, en el otoño del año 2015 se inició un nuevo ciclo de calentamiento superficial, lo cual desencadenó en un llamado Niño Godzilla que se llevó entre la primavera del año 2015 y el otoño del año 2016 (IGP, 2018). Además, “De acuerdo con la métrica empleada (Niño3.4, MEI, ONI), este evento se ubica entre el primer y tercer lugar del registro histórico (>100 años)” (IGP, 2018, pág. 7). Sin embargo, frente al Perú, según la definición ICEN, el evento alcanzó una magnitud fuerte para invierno, más no extraordinaria. Al parecer las ondas kelvin oceánicas tuvieron un menor impacto sobre la TSM a lo largos de la costa peruana. Parecieron desaparecer poco antes de su llegada a la costa sudamericana (Mosquera & Boris, 2016).

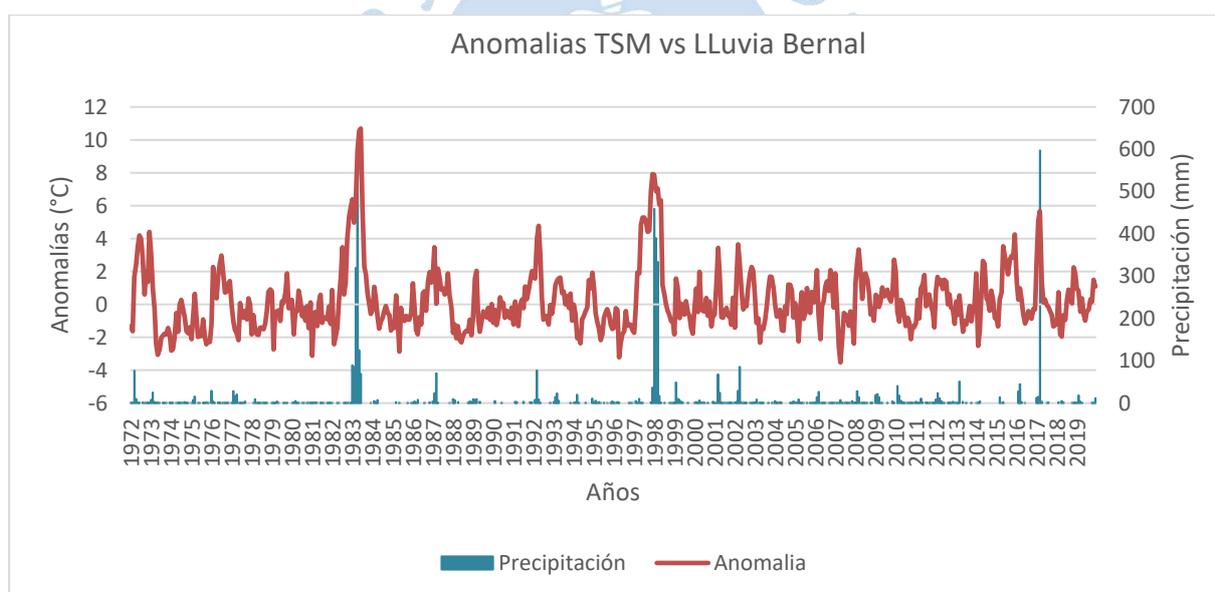
Para la estación utilizada en el año 2014 alcanzó su valor máximo de anomalías entre mayo y junio, y en los meses de verano precipitaciones dentro de lo normal de la zona. Incluso, en los meses de verano se muestra un valor de anomalías de -2.53 en el mes de febrero. Para el periodo 2015 – 2016 donde se desarrolló el llamado “Niño Godzilla” que se desarrolló en la zona Niño 3.4, los valores de anomalías alcanzaron un máximo de +2.96 en el mes de octubre, sin embargo no se presentó lluvias significativas. Además, se dan valores de precipitación arriba de lo normal en el mes de febrero del año 2015, con lo cual se reafirma que este evento no afectó en gran magnitud a la costa peruana.

Por otro lado, la menor anomalía alcanzada por la temperatura superficial del mar fue en abril de 2007 con un valor de -3.53 °C. Este año, según el listado dado por el ENFEN, ocurrió un Fenómeno La Niña con magnitud Fuerte (ENFEN, 2021).



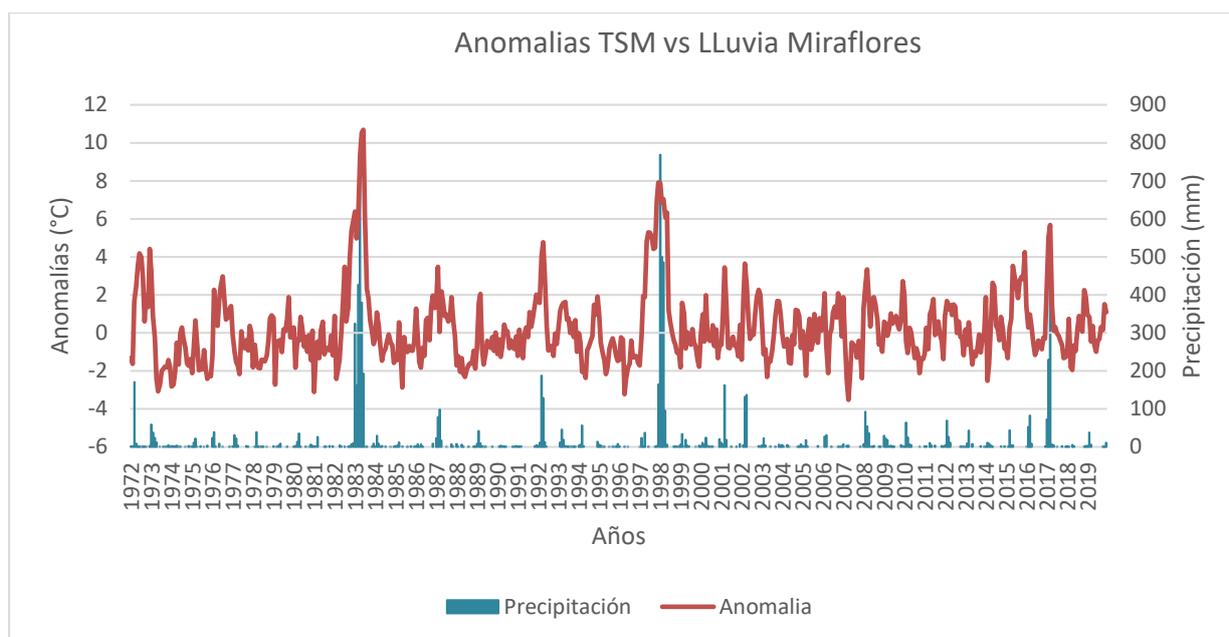
**Figura 103.** Relación de la anomalía de la TSM en Paita con la precipitación registrada en la estación Chusis

Fuente: Elaboración propia.



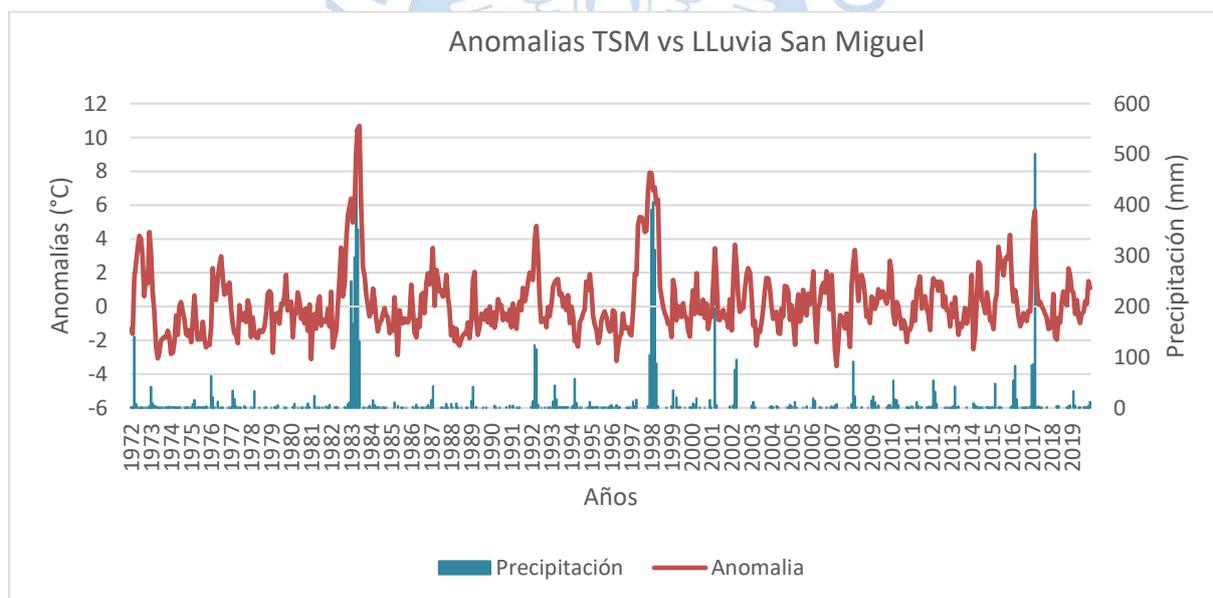
**Figura 104.** Relación de la anomalía de la TSM en Paita con la precipitación registrada en la estación Bernal

Fuente: Elaboración propia.



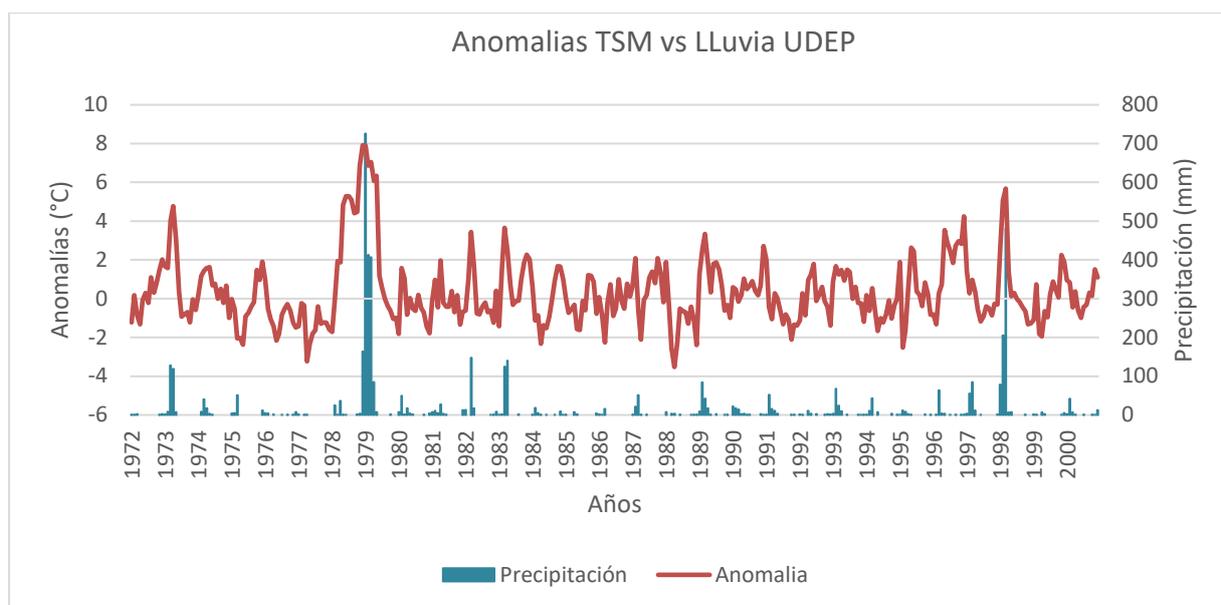
**Figura 105. Relación de la anomalía de la TSM en Paita con la precipitación registrada en la estación Miraflores**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 106. Relación de la anomalía de la TSM en Paita con la precipitación registrada en la estación San Miguel**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 107.** Relación de la anomalía de la TSM en Paita con la precipitación registrada en la estación UDEP

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3 Instalación de estaciones meteorológicas

#### 4.3.1 Instalación de una estación de monitoreo de la TSM en Bayóvar (2020)

La instalación de la estación meteorológica marca ONSET (Registrador HOBO, modelo RX3000), se realizó el sábado 08 de febrero de 2020, en el campamento Bayóvar de Petroperú. Este campamento se ubica cerca de Punta Aguja al sur de la bahía de Sechura.

La instalación estuvo a cargo del Dr. Ing. Rodolfo Rodríguez y el Blgo Luis Urbina. La preparación y pruebas preliminares como el ensamblaje de del cable sensor de temperatura al interior de tubos de PVC para su protección, estuvo a cargo del Dr. Ing. Rodolfo Rodríguez, las tesis de la presente investigación, Nohelia Palacios e Isabella Zapata, y el alumno de Ingeniería industrial y de Sistemas Jefferson Llacsahuanga.

Esta estación meteorológica se instaló, provisionalmente, en la parte superior de una caseta de concreto de 2.55 metros de altura ubicada cerca del faro de la Marina que hay en dicho campamento. Esta instalación es provisional ya que este sistema está previsto para que reporte la temperatura de agua de mar en la plataforma de desembarque del campamento (por motivo de trabajos que se estuvieron haciendo en dicha plataforma no fue posible, instalar la estación en dicho lugar). Por otro lado, cuando se había dado la fecha para la instalación de la estación en el mar, por la coyuntura del país, no fue posible realizar el traslado de la estación al mar.

Complementa a la red de estaciones meteorológicas “NIÑO5” que la Universidad de Piura (UDEP) ha implementado en el litoral de la región Piura y en lugares próximos a la latitud 05° 10' S, de la costa y sierra de la región Piura para estudios climáticos, ecológicos y

ambientales en esta región. La siguiente tabla resume los equipos y accesorios que conforman la estación meteorológica de la marca ONSET instalados en el Campamento de PetroPeru en Bayóvar.

**Tabla 42. Equipos y accesorios de la estación meteorológica HOBO instalados en el Campamento de Petroperú en Bayóvar**

<b>Ítem: 01</b>	<b>Módulo de Panel solar</b>
<b>Descripción</b>	Panel solar de 15 Watt en marco de aluminio de 17"x14"x1.25" con cable de alimentación de 2 metros y kit de montaje
<b>Marca</b>	SolarLand
<b>Modelo</b>	SLP015-06U
<b>Función</b>	Suministrar la energía eléctrica para que funcione el registrador de datos.
<b>Ítem: 02</b>	<b>Registrador remoto de datos</b>
<b>Descripción</b>	Registrador remoto de datos en caja de plástico blanca
<b>Marca</b>	ONSET
<b>Modelo</b>	HOBO RX3000 (Remote monitoring station)
<b>Serie</b>	20746959 (PN: RX3004-00-001)
<b>Función</b>	Recibe las señales de los sensores y los convierte en valores numéricos, los almacena y los trasmite
<b>Ítem: 03</b>	<b>Módulo de enlace inalámbrico</b>
<b>Descripción</b>	Módulo de enlace inalámbrico en caja de plástico blanco con cable de conexión (negro) y adaptador ethernet
<b>Marca</b>	ONSET
<b>Modelo</b>	RXMOD-RXW-900
<b>Serie</b>	20735855
<b>Función</b>	Se comunica remotamente con el sensor de temperatura remoto

<b>Ítem: 04</b>	<b>Sensor de temperatura remoto</b>
<b>Descripción</b>	Sensor de temperatura remoto para suelo y líquido con módulo de enlace inalámbrico en caja de plástico.
<b>Marca</b>	ONSET
<b>Modelo</b>	RXW-TMB-900
<b>Serie</b>	20717564
<b>Función</b>	Mide temperatura cuyos datos los envía remotamente al datalogger vía el módulo de enlace
<b>Ítem: 05</b>	<b>Sensor termo higrómetro</b>
<b>Descripción</b>	Sensor de temperatura alámbrico de temperatura y humedad relativa del aire
<b>Marca</b>	ONSET
<b>Modelo</b>	S-THB-M002
<b>Serie</b>	20735783
<b>Kit de montaje</b>	Protector solar RS3-B (más accesorios)
<b>Función</b>	Mide la temperatura del aire

A continuación, la Tabla 43 muestra datos de la instalación provisional de la estación Hobo Bayóvar.

**Tabla 43. Hoja de datos de la estación**

Site Number	Bayóvar 02 Udep	Project Number	FiFa desert 2019
Site Name	Bayóvar	Project Name	Fishing and Farming in Sechura desert
Site Location	Campamento Bayóvar de Petroperú		
Latitude	05° 47' 55.35 S".	Time Zone	+05 hrs
Longitude	79° 03' 57.52 O".	Magnetic Declination	
Elevation	150 m	Prevailing Winds	Sur

Installation Crew	Rodolfo Rodríguez	Phone Numbers: (Hotel, cell phone, etc.)	96 9731802
Site description (tree types, hills, etc.)		La estación se ubica en la parte superior de una caseta de concreto de 2.55 metros de altura ubicada cerca al faro de la Marina del Perú que está instalado en este campamento	
Terrain Features (Obstructions, distances from tower)		Terreno plano en una especie de pequeña meseta	
Soil Type		Rocoso	

En el Apéndice 5 se pueden observar algunas fotos de la instalación entre otros datos.

A partir del mes de marzo se realizó el monitoreo con los parámetros que se tenían, es así como se obtuvieron datos de Temperatura del aire (°C), Temperatura del Punto de Rocío(°C), Humedad Relativa (%). Estos datos se obtuvieron cada 10 minutos, sin embargo, por fallas de la estación, no se registró datos del mes de junio.

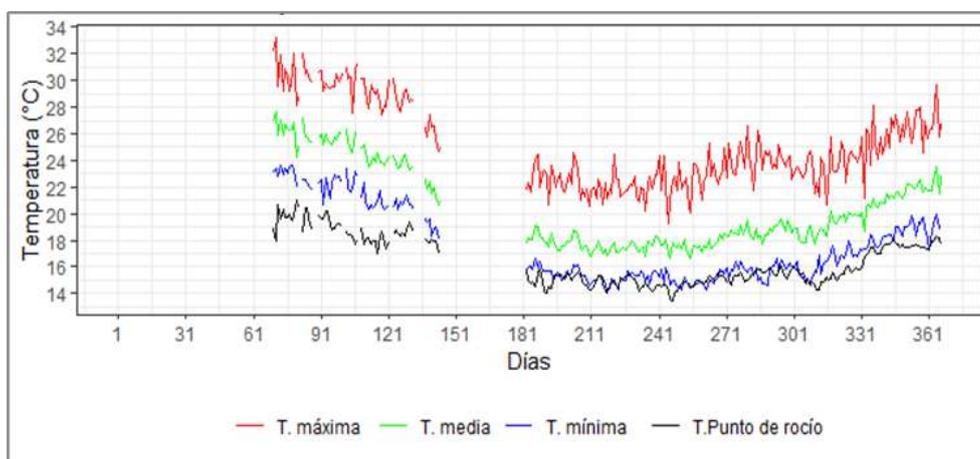
En las siguientes figuras (ver Figura 108 y Figura 109) se muestran los datos obtenidos en frecuencia diaria. De los datos de temperatura del aire se obtuvo la temperatura máxima, mínima y promedio. Estos datos se pasaron de una frecuencia de cada 10 minutos a frecuencia diaria para ser trabajados. Se puede ver que el mes de marzo obtuvo altas temperaturas, llegando a un máximo de 33.16 °C. Así también, la temperatura más baja se dio en el mes de setiembre con 14.29 °C.

Para el caso de la temperatura del punto de rocío alcanza su menor valor en setiembre con 13.4 °C, y la máxima temperatura en el mes de marzo con 20.6 °C. Además, se puede observar que su comportamiento es similar al de la temperatura mínima.

La humedad relativa se muestra un máximo de 89.2 % en el mes de julio y un mínimo de 56.5% en el mes de marzo. Durante los días monitoreados no se llega a un aire saturado, es decir que la humedad relativa tome el valor de 100 %. Además, no se llega a tener aire seco, es decir valores de humedad relativa igual a 0%. Se puede notar que la humedad relativa no es muy variante en esta zona, muy característico de la costa del Perú. En la Costa se observa poca variación, siendo su media de 70%, su mínima de 60%. La humedad máxima se presenta generalmente en el invierno (Ministerio de Agricultura y Alimentación, 1980). Cuando se presenta un evento El Niño la humedad relativa supera sus valores promedios mensuales, llegando a alcanzar valores de hasta 91% (MINAGRI, 2015). Estos valores no se han dado en los días de verano registrado en el 2020, lo cual también se debe a que no se ha presentado un fenómeno El Niño.

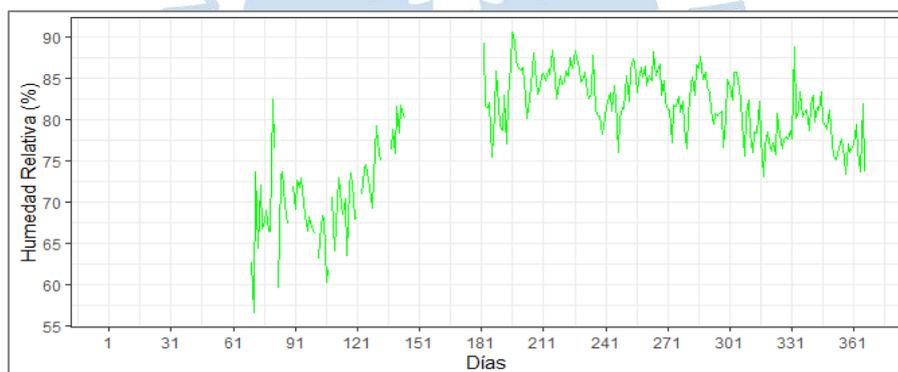
Como se sabe la temperatura del aire se comporta de forma inversa a la humedad relativa, por ello se puede observar que el gráfico de temperaturas estas son mayores en los

primeros días del año y menores en los días de invierno, mientras que en los primeros días del año la humedad relativa es menor y en invierno es mayor.



**Figura 108. Temperatura máxima, mínima y media del aire y temperatura de punto de rocío °C de la estación Bayóvar (2020)**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 109. Humedad Relativa de la estación Bayóvar (2020)**

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.3.2 Instalación de una estación de monitoreo Cerritos (2020)**

La estación meteorológica Cerritos fue instalada por primera vez en abril del 2014 por Dr. Ing. Rodolfo Rodríguez, entrando en operación a partir de las 11 horas del día 5 de abril del mismo año. Sin embargo, fue retirada el año 2018.

En febrero de 2020 se realizó la reinstalación de la estación meteorológica HOBO en el caserío Cerritos, Bernal, Sechura, Piura, de la cual formaron parte el Dr. Ing. Rodolfo Rodríguez, Ivonne Chunga, Jefferson Llacsahuanga y las tesisas Nohelia Palacios e Isabella Zapata.

Esta reinstalación es parte del proyecto “Fishing and farming in the desert a platform for understanding how to respond to El Niño in the context of climate change in Sechura, Perú” ejecutada por la Universidad de Piura entre 2019 y 2020.

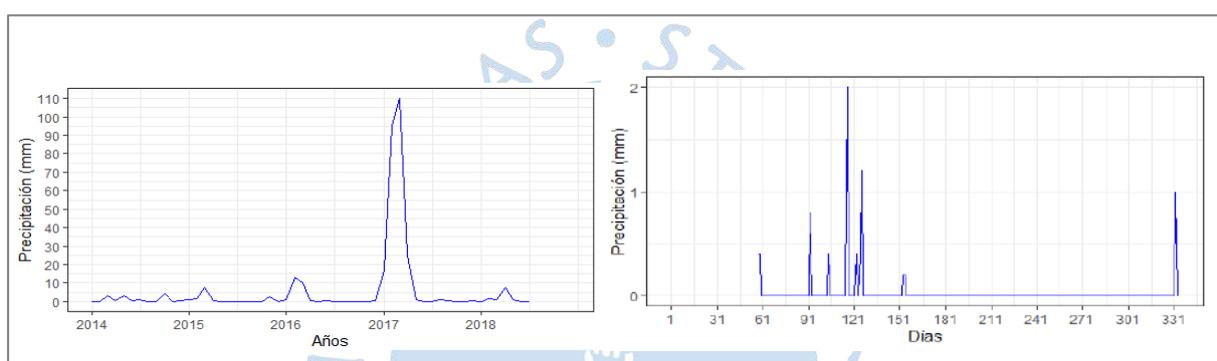
## 1. Datos de la instalación

**Tabla 44. Resumen de la reinstalación de la estación meteorológica Cerritos**

Fecha: viernes 28 de febrero de 2020					
<b>Ubicación</b>					
<b>Lugar</b>	<b>Distrito</b>	<b>Provincia</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Altura</b>	<b>Observación</b>
Caserío Cerritos	Cristo Nos Valga	Sechura	05°29'55.64" S 80°43'08.65" W	16msnm	En parte posterior de la casa de la Sra. Alicia Nunura
<p><b>Nota:</b> Previamente esta estación meteorológica estuvo instalada (desde el 05 de abril 2014) en la parte posterior de la casa del Sr. Andrés Nunura (hermano de la Sra. Alicia Nunura), como parte del proyecto “Rasgos funcionales de las poblaciones locales de algarrobo (<i>Prosopis pallida</i>) y su influencia sobre los servicios ecosistémicos en las principales comunidades rurales del norte de Perú” (Contrato N° 146-FINCYT-IB-2013) ejecutado por La Universidad de Piura entre el 2014 y 2015</p>					
<b>Equipo instalado</b>					
<b>Poste de sostenimiento</b>					
Consiste en un poste metálico de 3 metros de alto y 2” de diámetro que fue fijado al suelo con concreto					
<b>Pluviómetro</b>					
Fue instalado en la parte superior del poste de sostenimiento mediante una base circular metálica que es sujeta por un perno. Consta de las siguientes partes:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Depósito y rejilla: 789-4</li> <li>- Base con mecanismo sensor: 942-4;</li> <li>- Registrador de datos: Rain Log 2.0, S/N. 2005088 con 2 pilas AAA; Código Agromatic: 944-4</li> </ul>					
<b>Termo-higrómetro</b>					
Fue sujeta al poste de sostenimiento mediante una abrazadera. Consta de las siguientes partes:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protector solar 1: Código 955-4 (1Abrazadera, 5 cintillos y 2 tornillos)</li> <li>- Sensor: S-THB-M002, 12Bit Temp/RH Sensor, S/N 10470963; Código Agromatic: 953, Código Agromatic del conector en el cable: 953</li> <li>- Registrador de datos: H21-002 Hobo Micro Station, S/N. 10461808 con 4 Pilas AA, Código Agrom. 945; Código UDEP 033412</li> </ul>					
<b>Caja de registradores de datos</b>					
Es una caja de plástico que fue sujeta al poste de sostenimiento mediante una abrazadera metálica. En esta caja se alojan los registradores de datos del pluviómetro y del termo higrómetro					
<b>Fecha y hora de inicio</b>					
Esta estación entró en operación el viernes 28 de febrero de 2020 a las 11:00 hrs.					

Ver Apéndice 6 donde se podrán observar fotos del día de la reinstalación de la estación Cerritos.

En la Figura 110 se muestran los datos obtenidos de la estación Cerritos en frecuencia mensual de los años 2014 al 2018, se puede ver que años anteriores al FEN 2017 la precipitación acumulada alcanza un máximo de 13.2 mm en febrero del año 2016. Así también, en un año con evento El Niño la precipitación llega a alcanzar 110 mm en el mes de marzo del año 2017, para luego pasar 0 mm en los meses de invierno. Además, al analizar de con frecuencia diaria el año 2020, se puede notar que la lluvia llega a un máximo de 2 mm aproximadamente en el mes de abril, lo cual es algo normal en la zona de Sechura, se puede evidenciar un año no Niño.



**Figura 110. Precipitación mensual de la estación Cerritos del año 2014 al año 2018 y Precipitación diaria de la estación Cerritos 2020**

Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 5

### Análisis y resultados a partir de Registros naturales

Investigaciones como las de José Macharé y Luc Ortlieb exponen que condiciones climáticas similares a las de El Niño ocurrieron hace 4,500 años en la costa peruana. Son los registros naturales del clima, o también llamados registros paleoclimáticos, que mediante fuentes de información que brinda la naturaleza, permiten realizar reconstrucciones de climas pasados a través del análisis de datos proxy (paleo datos). Tener un mayor panorama del comportamiento completo de la variabilidad ayuda a profundizar en el estudio de El Niño y resolver interrogantes importantes como si los cambios observados en los últimos años son simplemente naturales o son atribuibles a los gases de efecto invernadero producidos por el hombre.

Como se indicó en el apartado 0, los Registros naturales se clasifican en Registros biológicos (Anillos de los árboles, corales) y Registros geológicos (Cordones litorales, núcleos de hielo). En este capítulo se estudiarán las evidencias sobre las posibles ocurrencias del FEN encontradas en los Anillos de los árboles y en los Cordones litorales en la costa norte del Perú, y otros estudios complementarios.

#### 5.1 Registros del FEN en especies arbóreas de la costa norte del Perú

##### 5.1.1 Dendrocronología

El término Dendrocronología proviene del griego “dendros” que significa árbol, “crono” significa tiempo y “logos” significa ciencia o conocimiento. Su concepto etimológico es la ciencia de datar o determinar la edad de los árboles (Rodríguez & Fernández, 2009).

Según Rodríguez y Fernández (2009):

Dendrocronología es la ciencia que fecha los anillos anuales de crecimiento de los árboles, analizando la estructura e investigando información registrada en ella para aplicaciones ambientales, ecológicas e históricas.

Existen diversas aplicaciones de esta ciencia, como por ejemplo la Dendroarqueología y la Dendroecología. En esta última se encuentra la Dendroclimatología, la cual analiza los anillos de los árboles para reconstruir y estudiar el clima del pasado y del presente (Rodríguez & Fernández, 2009).

Son cuatro las condiciones para ser usado en el fechado de especies (Rodríguez & Fernández, 2009):

1. Los árboles deben agregar un anillo por cada estación de crecimiento. Es decir, deben tener un crecimiento anual.
2. Solo un factor debe ser predominante en limitar el crecimiento, por ejemplo, en el caso de la Costa del Perú el factor es la lluvia.
3. Aunque el ancho del anillo no sea directamente proporcional a la precipitación, los anillos deben ser anchos en un año lluvioso y finos en años de sequía.
4. La variable ambiental y factor limitante del crecimiento debe ser uniformemente efectivo sobre el área geográfica grande.

Para analizar la estructura del anillado se tienen 2 fases, una de campo y otra de laboratorio. En la fase de campo se realizan las mediciones de los incrementos radiales con un dendrómetro, la obtención de muestras, selección de especies y la recolección de las secciones a estudiar. En la fase de laboratorio, se preparan las muestras, se toman las medidas del ancho de los anillos para luego ser procesados en diversos softwares. Por ejemplo, para la medición del ancho de los anillos se utiliza el software MEASURE, para el control de calidad de datos COFECHA y para el desarrollo de la cronología se utiliza el software ARSTAN (Rodríguez & Fernández, 2009).

En el caso de dendroclimatología, una vez obtenida la serie, para determinar la relación crecimiento radial-clima se calcula haciendo uso de la función correlación y regresión múltiple, para ello se utilizan los programas RESPO Y PRECON (Rodríguez & Fernández, 2009).

### **5.1.2 Estudios dendrocronológicos en Perú**

Los estudios dendrocronológicos iniciaron en el Perú a finales de los años 80. Se empezó por la identificación de especies de árboles cuyo anillado permita localizar las anomalías o “señales” ligadas a fases de fuertes lluvias y también por la medición o control de la velocidad actual de crecimiento de dichas especies (Rodríguez & Fernández, 2009).

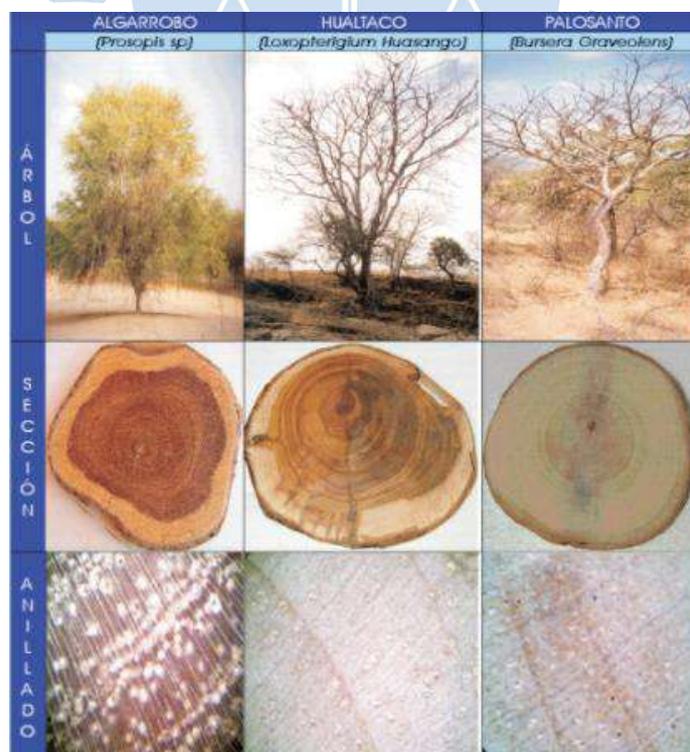
La dendrocronología proporciona información sobre las respuestas del crecimiento de los árboles a las variaciones climáticas en el ecosistema. Sin embargo, los estudios dendrocronológicos en las regiones tropicales no son tan comunes como los de las regiones templadas, principalmente porque no todos los árboles de estos hábitats forman anillos de crecimiento (capa de madera que aparece durante una sola temporada de crecimiento) distintos debido a la aparente falta de un patrón climático (López, Rodríguez, Gracia, & Sabaté, 2005).

En las regiones templadas, es fácil distinguir los anillos anuales de muchas especies debido a las diferentes células formadas durante las primeras y últimas partes de la temporada; sin embargo, para algunas especies de zonas templadas y muchas especies

tropicales, los anillos de crecimiento anuales no son fáciles de identificar, pero en ciertas regiones áridas de la zona tropical, los patrones ambientales (especialmente los relacionados con las precipitaciones) son cíclicos y pueden reflejarse en la presencia de anillos de árboles (López, Rodríguez, Gracia, & Sabaté, 2005).

La alteración climática que experimenta la costa norte del Perú cuando ocurre el FEN tiene efectos importantes en los ecosistemas terrestres y marinos de esta región. El incremento de las precipitaciones en el desierto, semidesierto y el bosque seco de esta zona aumenta la cobertura vegetal; precisamente los árboles del bosque seco se reverdecen e incrementan su tasa de crecimiento anual, sirviendo como fuentes de registro natural de la ocurrencia de tal fenómeno (IGP, 2018).

En el bosque seco de la costa norte peruana existen varias especies arbóreas con potencial para estudios dendroclimáticos (ver Figura 111), entre ellas están Hualtaco (*Loxopterigium Huasango*), Palo Santo (*Bursera Graveolens*), Pasayo (*Eryoteca ruizii*) y Algarrobo (*Prosopis sp*). Estas especies presentan defoliación cuando hay ausencia de lluvias, pero tan pronto inicia la temporada lluviosa, generan un nuevo anillo de crecimiento anual cuyo ancho depende de la cantidad de lluvia. Al medir el ancho del anillo, desde la médula hasta la corteza, se genera una serie dendrocronológica que es confrontada con la lluvia total anual de la zona, siendo estas utilizadas en diferentes campos de la ciencia, como la climatología, ecología o agronomía forestal, para inferir cambios en el ambiente y la respuesta de la vegetación a la variación del clima (IGP, 2018).



**Figura 111. Especies arbóreas del bosque seco de la costa norte peruana**

Fuente: (Rodríguez, y otros, 2003).

López et al. (2005) y Rodríguez et al. (2005) presentaron las primeras evidencias del registro del FEN en especies del bosque seco de la costa norte del Perú (Palo Santo y Algarrobo). Estos estudios fueron realizados en el Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Piura. En estas series dendrocronológicas se encontró un claro registro de los eventos FEN, especialmente de aquellos de gran magnitud como 1982-83 y 1997-98, años en los cuales el ancho del anillo correspondiente era significativamente mayor. Estas series dendrocronológicas fueron confrontadas con parámetros de FEN, como lluvias anuales de la zona y el Índice de Oscilación del Sur, encontrándose alta correlación; y también se confrontaron con otras series climáticas relacionadas al FEN (IGP, 2018).

Algunos estudios escogidos se presentarán en la Tabla 45 y los resultados obtenidos se describirán más adelante por especies.

**Tabla 45. Estudios dendrocronológicos nacionales.**

Investigación	Autores	Año de publicación	Especies arbóreas estudiadas
El zapote ( <i>Capparis angulata</i> ): Testigo del pasado	Mabres, Antonio	1988	Zapote
Avances sobre estudios dendrocronológicos en la región costera norte del Perú para obtener un registro pasado del Fenómeno El Niño	Rodríguez, Rodolfo; Woodman, Ronald; Balsley, Ben; Mabres, Antonio; Phipps, Richard	1993	Palo Santo, el Haltaco y el Sapote
“El Niño” events recorded in dry-forest species of the lowlands of northwest Peru	Rodríguez, Rodolfo.; Mabres, Antonio; Luckmanb, Brian; Evans, Michael; Masiokas, Mariano; Ektvedt, Tom	2005	Palo Santo
Anatomía de madera, descripción de anillos anuales y respuestas a eventos ENSO de <i>Prosopis pallida</i> H.B.K., una planta leñosa de grandes extensiones de tierras áridas y semiáridas de América Latina	López, Bernat; Rodríguez, Rodolfo; Gracia, Carlos; Sabaté, Santiago	2005	Algarrobo
Señales climáticas en crecimiento y su relación con eventos ENSO de dos especies de <i>Prosopis</i>	López, Bernat; Rodríguez, Rodolfo; Gracia, Carlos; Sabaté, Santiago	2006	Algarrobo

siguiendo un gradiente latitudinal en Sudamérica			
Dendrocronología de <i>Prosopis</i> sp. en la región Piura	Ancajima, Alberto	2017	Algarrobo
Efecto de los eventos climáticos y ENOS en los bosques de <i>Prosopis pallida</i> a lo largo de un gradiente climático	Salazar, Pablo; Navarro, Rafael; Ancajima, Edwin; Duque, Joaquín; Rodríguez, Rodolfo; Ghezzi, Iván; Mabres, Antonio	2018	Algarrobo
El Niño registrado en especies arbóreas del bosque seco de la costa norte del Perú	Rodríguez, Rodolfo; Mabres, Antonio; Palacios, Elva; Salazar, Pablo	2018	Algarrobo

**5.1.2.1 Estudios dendrocronológicos de Algarrobo.** El Algarrobo (*Prosopis pallida* H.B.K.) es una de las especies de árboles más económica y ecológicamente importantes en las tierras áridas y semiáridas del continente americano. Es la especie arbórea dominante en los bosques secos del Perú, que cubre una superficie total de 3230263 ha (López, Rodríguez, Gracia, & Sabaté, 2005).

López et al. (2005) utilizaron secciones de *P. pallida* para describir la anatomía de la madera y determinar si los anillos anuales eran visibles o no. En enero del 2002 se tomaron muestras de 54 secciones de la plantación del Campus de la Universidad de Piura (UDEP) y también de otros lugares, de los cuales se tomó 10 secciones basales de árboles como mínimo. Para evitar cortar árboles vivos, se pidió información a los residentes locales sobre la fecha de cosecha de los árboles que ya habían sido cortados. En total se trabajaron con 177 secciones (López, Rodríguez, Gracia, & Sabaté, 2005).

Los resultados mostraron que *P. pallida* tiene anillos de crecimiento anuales bien diferenciados y relaciones significativas con las precipitaciones, demostrando que esta especie es adecuada para estudios dendrocronológicos y que los eventos en ENSO son claramente detectables en los anillos de crecimiento. Con estos datos se construyó una cronología de 37 años, desde 1965 hasta el 2001, mediante 95 series de anillos (López, Rodríguez, Gracia, & Sabaté, 2005).

Además, los estudios dendroarqueológicos con *P. pallida* podrían proporcionar largas cronologías de crecimiento de los árboles en la zona donde estos fueron utilizados por las

poblaciones nativas. Se han detectado troncos de *P. pallida* en sitios arqueológicos del Perú podrían utilizarse para investigaciones dendroarqueológicas futuras. Estas cronologías podrían proporcionar información valiosa para reconstruir los eventos climáticos en los ecosistemas áridos y semiáridos de Sudamérica (López, Rodríguez, Gracia, & Sabaté, 2005).

Un año después, el mismo equipo de investigación realizó un estudio con el objetivo de establecer una relación entre la respuesta de dos especies de Algarrobo (*Prosopis*) ante la precipitación, la temperatura y su conexión con los eventos de oscilación del sur de El Niño (ENOS) (López, Rodríguez, Gracia, & Sabaté, 2006).

El gradiente latitudinal elegido para la investigación comenzó en Piura (norte de Perú), y terminó en Chile Central. Se tomaron muestras de *Prosopis pallida* HBK en sitios peruanos como Piura, Casma y Nazca, cuyo procedimiento de muestreo y los resultados de algunas muestras se pueden encontrar en López et al. (2005). Para la especie *P. chilensis* Molina Stuntz se recogieron un total de 190 muestras en diferentes zonas del centro-norte de Chile (López, Rodríguez, Gracia, & Sabaté, 2006).

Utilizando técnicas dendrocronológicas clásicas, los anillos de crecimiento de cada especie se cruzaron en cada sitio de muestreo. Las cronologías se relacionaron con los registros climáticos instrumentales de cada sitio y con las series SOI y N34. Para evaluar la relación del crecimiento con la precipitación y la temperatura, se emplearon técnicas de análisis de correlación cruzada, espectrales y ondículas (López, Rodríguez, Gracia, & Sabaté, 2006).

Los resultados muestran que, a pesar de la gran distancia entre los sitios, las dos especies de *Prosopis* presentaron respuestas similares; por lo tanto, el crecimiento de ambas especies se correlaciona positivamente con la precipitación, pero no con la temperatura. Además, en el norte de Perú, la precipitación y el crecimiento de *P. pallida* presentan un patrón cíclico similar durante un período de aproximadamente 3 años; mientras que *P. pallida* en el sur de Perú y *P. chilensis* también presentan el mismo patrón cíclico, pero con menor frecuencia, lo cual coincide con el patrón de precipitación. Ambos ciclos están dentro del rango de la banda ENSO (López, Rodríguez, Gracia, & Sabaté, 2006).

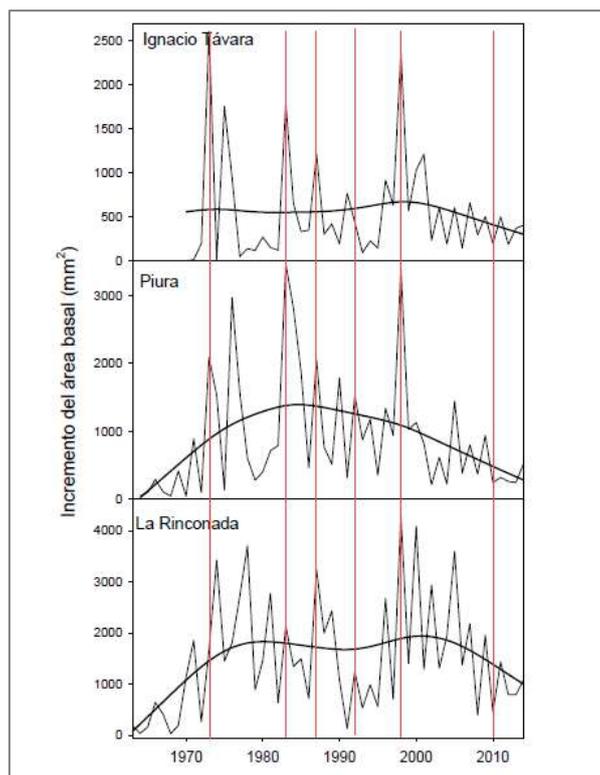
Años más tarde, en la tesis de investigación de Ancajima del año 2017, se presenta un estudio dendrocronológico hecho en los bosques de las zonas Ignacio Távara, Piura y La Rinconada, utilizando para el estudio la especie arbórea Algarrobo (*Prosopis* sp.) (Ancajima, 2017). Se analizó el crecimiento de los anillos de los árboles y las series fueron fechadas, además se obtuvo la cronología del índice de ancho de anillos y el crecimiento. Se calculó la sensibilidad media que permite analizar las variaciones en el ancho de los anillos de los árboles de un año respecto al otro, indicando si la variabilidad en el crecimiento está vinculada a las variaciones del clima. También, se calculó la correlación entre series para medir su asociación entre el crecimiento de distintos árboles y se midió la autocorrelación para analizar si el crecimiento depende o no de las condiciones climáticas actuales. En dicha investigación se

relacionó el índice del ancho de los anillos con el promedio mensual de la temperatura, la precipitación y la temperatura de la superficie del mar en la zona 1 + 2 y 3 + 4 (Ancajima, 2017).

Las colecciones obtenidas en Ignacio Távara presentaron un promedio de 0.73 mm en el índice de ancho de anillos y durante años con condiciones normales fue de 0.60 mm, señalando que magnifica su crecimiento hasta 5 veces más en años con presencia de Fenómeno El Niño (Ancajima, 2017). Además, muestra como coeficiente de correlación un valor de 0.44 y sensibilidad media de 0.98. En Piura, el coeficiente de correlación es de 0.49 y sensibilidad media de 0.9. El índice del ancho de anillos presentó valores máximos y mínimos de 2,26 y 0,08 respectivamente (Ancajima, 2017). Además, en los años de crecimiento con condiciones normales el promedio fue alrededor de 1, sin embargo, el crecimiento solo se duplicó en años de fenómeno El Niño. En la Rinconada el coeficiente de correlación fue de 0.34 y sensibilidad media de 0.91. El índice de ancho de anillos fue superior a los otros bosques en épocas No Niño. Así también, durante eventos ENSO el crecimiento fue superior, sin embargo, se considera que esta zona fue la menos dependiente a eventos (Ancajima, 2017).

Con respecto a la relación del índice de los anillos de crecimiento y los parámetros meteorológicos se mostraron distintos resultados dependiendo la población. Por ejemplo, con la temperatura superficial del mar de la zona Niño 1+2 la población de Ignacio Távara presentó una relación significativa durante la estación de invierno del año anterior y el verano del año en curso, en cambio la población de Piura y La Rinconada no se correlacionan con este parámetro (Ancajima, 2017). Esto puede estar asociado a factores como: la distancia al mar, la cercanía a los andes y la distribución geográfica. En este sentido el océano Pacífico cumple un rol fundamental en la determinación del clima local, siendo fuente de humedad para la atmósfera. Por otra parte, la temperatura de la superficie del mar de la zona Niño 3.4 no se relaciona con el crecimiento de las poblaciones empleadas en este estudio. Esto se debe a que el calentamiento de las aguas en la región Niño 3.4 no siempre se traduce en precipitaciones para las poblaciones de estudio (Ancajima, 2017).

En el caso de la relación con la precipitación (ver Figura 112), en Ignacio Távara la relación de crecimiento fue positiva, en los meses de verano, al igual que en Piura y la Rinconada, aunque más baja que en Ignacio Távara. Esto demostró que, aunque las poblaciones de algarrobo de benefician con las precipitaciones, no todas las poblaciones dependen directamente de la lluvia para lograr su crecimiento. Por último, con respecto a la temperatura local, se observó que repercute en el crecimiento de los algarrobos ubicados en Ignacio Távara, lo mismo para Piura, sin embargo, para La Rinconada la correlación fue muy baja (Ancajima, 2017).



**Figura 112. Incremento en el área basal (mm<sup>2</sup>) de las poblaciones de Algarrobo a lo largo del tiempo. Líneas verticales indican Eventos El Niño registrados**

Fuente: Ancajima (2017).

En la investigación realizada por Salazar et al. (2018), exponen que, en el Perú, los estudios dendrocronológicos previos de algarrobo habían mostrado una respuesta positiva a los eventos del ENSO y un potencial para estudios arqueológicos y climáticos actuales. Sin embargo, no se habían evaluado la variabilidad entre las poblaciones de algarrobo en la respuesta a los eventos del ENSO, ni el papel de las características climáticas y geográficas locales. Por ello, en este trabajo se estudiaron las diferencias locales en las respuestas de crecimiento de *P. pallida* a los eventos ENSO a través de datos dendrocronológicos.

Para esto, se seleccionaron tres poblaciones de algarrobo dentro de un gradiente de aumento de temperatura y precipitación de Oeste a Este. Los datos de anillos de árboles se correlacionaron con la temperatura y precipitación mensual de cada ubicación y con los índices de ENSO 3.4 y 1 + 2 (Salazar, y otros, 2018).

Las poblaciones forestales de la costa norte presentan diferencias morfológicas, funcionales y estructurales, las cuales están relacionadas con las condiciones geográficas, topográficas y climáticas de la región. Por lo tanto, la variación de las anomalías en la TSM del océano Pacífico, utilizadas normalmente para determinar la aparición e intensidad del FEN, deberían reflejarse en las series dendrocronológicas de las poblaciones forestales de la costa (IGP, 2018).

Los resultados muestran que las poblaciones de *P. pallida* en la costa norte peruana son buenos candidatos para las reconstrucciones dendrocronológicas, especialmente para la detección de eventos climáticos fuertes actuales e históricos como el ENSO (Salazar, y otros, 2018). Sin embargo, debido al campo de viento y la dinámica de la corriente de Humboldt, los sitios costeros recibieron menos precipitaciones que los sitios interiores. A pesar de ello, el crecimiento de las poblaciones del interior mostró la mayor correlación con las condiciones climáticas. Las precipitaciones de verano (enero), la temperatura de primavera del año anterior y la temperatura de verano del año en curso se correlacionaron significativamente con el crecimiento. Todas las poblaciones mostraron un aumento significativo en el índice de anillo durante los eventos ENSO. Sin embargo, el crecimiento en los años sin ENSO también fue alto en poblaciones más cercanas a la costa. También se indicó que la proximidad a la Cordillera de los Andes, la distancia a la costa del Pacífico y la distribución de algarrobo en esta zona hacen que las poblaciones marginales del interior sean más sensibles a las variaciones climáticas y los eventos ENSO (Salazar, y otros, 2018).

Complementario a esto, Rodríguez et al. (2018) comentan las perspectivas futuras de El Niño sobre el crecimiento del bosque basándose en diferentes trabajos. En los últimos diez años, las condiciones climáticas a lo largo de la costa peruana se han vuelto cada vez más limitantes para la vegetación; la sequía, el aumento de las temperaturas y la escasez de lluvias son las características de este período. Se espera que el incremento gradual de la temperatura del mar causado por el Cambio Climático aumente la frecuencia e intensidad de la FEN. Si bien un mayor suministro de agua producirá un período de mayor crecimiento, la inestabilidad climática puede reducir la adaptación de las principales especies forestales y cambiar la dinámica ecológica. Es por eso que el futuro calentamiento del océano representa una amenaza para el crecimiento del bosque de *P. pallida*, por lo que es necesario incrementar el conocimiento sobre la investigación del bosque seco y la influencia del clima en el proceso de germinación, regeneración y crecimiento de los bosques, de la cual se puede extraer una larga información ya que la historia del algarrobo peruano se remonta a antes de los incas, y la obtención de datos dendrocronológicos a partir de muestras arqueológicas podría ampliar y esclarecer el clima actual y futuro de la costa peruana (IGP, 2018).

**5.1.2.2 Estudios dendrocronológicos de Zapote.** El zapote es un árbol típico del desierto, capaz como el algarrobo de sobrevivir a largos períodos de sequía. Posiblemente el segundo en abundancia en la flora arbórea de la costa norte se puede encontrar en los territorios que van desde Lambayeque hasta el departamento de Tumbes.

Tanto el zapote como el algarrobo tienen una extraordinaria resistencia a la sequía, estos árboles pueden extender sus raíces hasta gran profundidad y así aprovechar la humedad que queda en niveles profundos incluso después de años prolongados de sequía. El Zapote es un árbol que vive siglos, a los 5 años su tronco mide entre 10 a 20 cm de diámetro y más de 3

metros de altura, luego sigue creciendo lentamente hasta alcanzar los 6 o 7 metros (Mabres, 1988).

Debido a la longevidad que alcanza el zapote se abre la posibilidad de reconstruir una larga historia de variaciones paleoclimáticas en el norte peruano (Macharé, Ortlieb, Woodman, & Guevara, 1990). En un estudio hecho por Mabres (1988) se menciona que los zapotes del desierto del Perú han sido testigos de lluvias intensas en el pasado y algunos se puede conservar evidencia de dichas lluvias. Por ejemplo, en la anchura de los anillos de estos árboles quedan registradas las condiciones ambientales que tuvo el zapote. En la Universidad de Piura se hicieron fechados con la técnica de carbono 14 que muestran la longevidad de algunos zapotes. Además de pruebas fenológicas para observar el ritmo de crecimiento de alguno, el cual incrementa en tiempos de lluvias intensas (Mabres, 1988).

Sin embargo, la investigación por Rodríguez et al. (1993) expuso que el Sapote no presentó anillos de crecimiento completos ni anuales, debido a que parece estar principalmente controlado por la presencia de agua en el subsuelo, pero presenta variaciones, dependiendo de la temporada y a los años lluviosos, como es el caso de huellas muy notables y sin precedentes dejadas en su anillado por el evento del 1983. Es por ello por lo que se descarta al Sapote como especie con potencial dendrocronológico, aunque se deja abierta su ayuda para determinar la frecuencia de ocurrencia de El Niño con intensidad comparable al de 1983 (Rodríguez, Woodman, Balsley, Mabres, & Phipps, 1993).

**5.1.2.3 Estudios dendrocronológicos de Palo santo y Hualtaco.** En la investigación encabezada por Rodríguez (1993), se seleccionaron especies locales con anillos de crecimiento (de preferencia anuales) o con un tipo de tejido que permita diferenciar el crecimiento diverso en las épocas lluviosas y con registros suficientemente longevos. Posteriormente, se escogieron zonas adecuadas y algunos ejemplares en dichas zonas, cuyo crecimiento no pueda estar influenciado por situaciones particulares que enmascaren el efecto del clima (Rodríguez, Woodman, Balsley, Mabres, & Phipps, 1993).

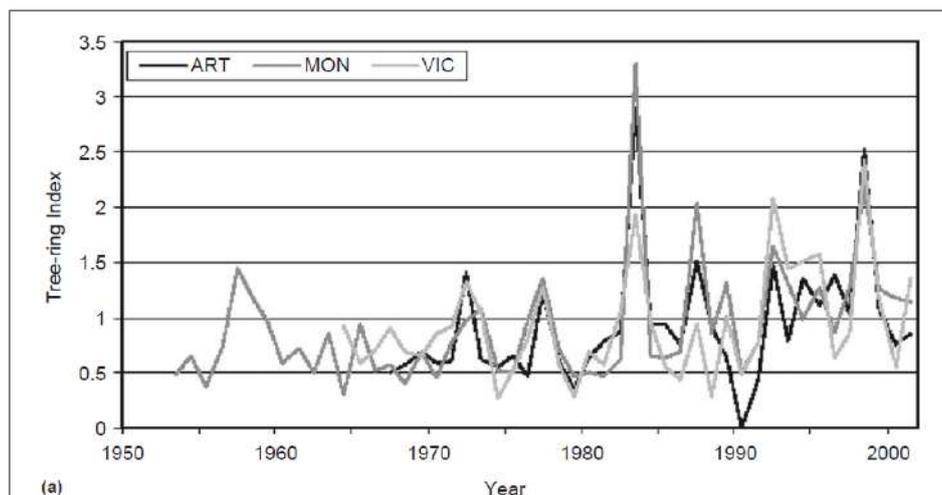
En el estudio del Hualtaco y el Palo Santo, estos sí presentaron anillos completos. Ambas especies crecen en las zonas montañosas bajas, bien drenadas, que rodean las zonas planas del desierto. Su hábitat cubre varios regímenes de lluvias, siendo en los más secos donde ellos crecen solamente durante años El Niño, mientras que en los más húmedos muestran crecimiento por lo menos durante la estación de lluvias. Estas especies mostraron una respuesta casi inmediata a la ausencia o no de lluvias, lo cual se ve reflejado en la rápida pérdida de sus hojas, pudiendo permanecer sin hojas y sin crecer por años sucesivos en que no llueve. El grosor del anillo depende de la cantidad de lluvia que haya recibido el árbol. Esta es una cualidad interesante, ya que estas especies tienen registrado en su anillado su crecimiento, el cual está asociado a los años de lluvia y a su intensidad (Rodríguez, Woodman, Balsley, Mabres, & Phipps, 1993).

Ambas especies se les encuentra en zonas que van desde lo más seco del área de estudio (como Quebrada Paloma en El Alto) hasta las áreas más lluviosas (como las montañas cercanas a Las Lomas). En la primera zona, solo llueve durante los períodos en que El Niño es fuerte; mientras que en la segunda zona llueve poco. En ambos casos, llueve solo en la temporada de lluvias. En el primer lugar, ambas especies registraron en su anillado sólo la ocurrencia de El Niño fuerte, con mayor o menor espesor de acuerdo con la intensidad, siendo el evento de 1983 registrado en el anillo con un espesor excepcional. En el segundo lugar, se espera un anillado anual, con el potencial de producir una cronología de la intensidad de las lluvias. Usadas en conjunto podrían producir una cronología de los Niños fuertes del pasado. A pesar del carácter preliminar de este análisis, y de la no cuantificación matemática de la correlación, es evidente que constituye un indicio claro del potencial de esta especie, en esta zona, para conseguir los objetivos buscados (Rodríguez, Woodman, Balsley, Mabres, & Phipps, 1993).

Otro estudio del Palo Santo se realizó en el 2005, el cual fue uno de los primeros estudios dendrocronológicos que se midió en la costa noroeste de Perú.

Las cronologías hechas en este estudio se basan en el árbol Palo Santo (*Bursera graveolens*), donde se analiza el ancho de los anillos del árbol para encontrar registros que señalen la ocurrencia de eventos ENSO durante los últimos 50 años. Como los eventos de precipitaciones se limitan a las temporadas de verano, la especie arbórea proporciona un anillo anual (Rodríguez, y otros, 2005).

La primera cronología desarrollada en el estudio es para Palo Santo de Vicus Hill, cerca de Chulucanas en el departamento de Piura. Esta serie presenta una duración de 38 años y mostró los eventos ENOS de 1982-1983 y 1997-1998, con una correlación de 0.69 entre la precipitación de enero a diciembre y la cronología. Además, se realizó una ampliación con cronologías como la de Montesillo que va desde el año 1953 al 2001 y Arteza Hills que muestra un periodo de 1967 al 2001, ambas muestran resultados similares a Vicus Hill (Rodríguez, y otros, 2005). La correlación compuesta por las tres series muestra un coeficiente positivo de 0.84 y una señal de que los eventos ENOS tienen un periodo de recurrencia de 5 años en promedio (Rodríguez, y otros, 2005). Además, en la Figura 113 se muestra el tamaño de los anillos en las 3 cronologías, donde se puede observar que los anillos más anchos se dieron en los años con presencia de un evento El Niño.



**Figura 113. Tamaño de anillos en 3 cronologías**

Fuente: Rodríguez y otros (2005).

## 5.2 Registro del FEN en Cordones litorales de la costa norte del Perú

En diversos puntos a lo largo de la costa del Perú se encuentran series de cordones litorales como evidencia de que la orilla del mar se encontraba allí hace unos cientos o miles de años (Woodman, Ronald, & Mabres, 1993).

Se ha propuesto como hipótesis para explicar su formación, la ocurrencia de eventos sísmicos, la ocurrencia de grandes avenidas de los ríos que desembocan en su vecindad, así como marejadas asociadas con grandes eventos de El Niño (Woodman, Ronald, & Mabres, 1993). Bajo esta última hipótesis, se han realizado varios estudios en las que se ha propuesto que ciertos cordones litorales se habrían formado debido a las condiciones climáticas y marinas asociadas a eventos El Niño en el pasado y que estos podrían registrar eventos discontinuos de El Niño muy fuertes o súper-ENOS de larga duración ocurridos en la segunda mitad del Holoceno (Macharé & Ortlieb, 1993).

Por otro lado, se han observado casos de secuencias en que los procesos de formación de cordones litorales no destruyeron los cordones litorales previamente construidas. La preservación de una serie de cordones litorales se ve favorecida por dos tipos de circunstancias: una disminución relativa del nivel del mar o una rápida progradación de las áreas costeras donde el suministro de sedimentos es lo suficientemente grande como para que cada cresta recién formada proteja a las más antiguas de la erosión costera subsecuente. En el Perú, las secuencias de cordones litorales del Holoceno pertenecen a la segunda categoría, aunque probablemente ocurrió una leve caída relativa del nivel del mar desde la altura máxima del Holoceno medio (Ortlieb, Fournier, & Macharé, 1993).

Las cuatro principales secuencias de cordones holocenos en el Perú son Chira, Colán, Sechura y Santa, los cuales han sido estudiadas bajo diferentes enfoques que han ido desde

la neotectónica y las variaciones relativas mar/continente, hasta la reconstitución del poblamiento prehistórico y de las variaciones de condiciones ambientales en las regiones costeras (Díaz & Ortlieb, 1991). A estas, se le añade un nuevo cordón litoral formado en Máncora durante El Niño de 1983, la cual fue estudiada ese mismo año.



Figura 114. Serie de cordones litorales en la costa del Perú

Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.1 Secuencia de Chira

La secuencia de Chira se encuentra en la desembocadura del río Chira y es la secuencia más septentrional. Consiste en 9 crestas que miden hasta 20 km de largo, 100-300 m de ancho y 3-4 m de alto. Estas crestas están formadas por arenas no fosilíferas derivadas directamente del río Chira. Las crestas resistieron la erosión gracias a una gran capa que forman los conchales. Estas conchas se acumularon en grandes cantidades y se esparcieron por las crestas debido a la población indígena prehistórica (Ortlieb, Fournier, & Macharé, 1993).

La datación por radiocarbono de estas conchas y de fragmentos de carbón asociados, realizado por Díaz y Ortlieb en su estudio de 1991, indicó que las edades decrecientes de 4.500 BP hasta la actualidad. Las conchas en su mayoría pertenecen a las especies *D. obesulus* y *Tivela hians Philippi*, típicos de ambientes litorales arenosos expuestos. Estos dos bivalvos son los más abundantes en el litoral actual y parecen haberse beneficiado de condiciones ecológicas óptimas en los últimos 4500 años (Díaz & Ortlieb, 1991).

En 1993, Ortlieb, Fournier y Macharé publicaron un estudio que reexaminaba los datos geocronológicos disponibles sobre de secuencias de cordones de Chira y Colán para evaluar

principalmente las correlaciones cronológicas entre cada cordón litoral de las dos secuencias (Ortlieb, Fournier, & Macharé, 1993).

En el estudio comparativo de las 2 secuencias, se realizó una datación por radiocarbono a las conchas marinas y fragmentos de carbón muestreados dentro del sedimento o encima de los cordones. Esta datación de las crestas se vio obstaculizada por diversos factores, algunos relacionados con las muestras mismas, o con su relación cronológica con la formación de la cresta, y otros debido a limitaciones específicas del método de radiocarbono (técnica de medición tradicional, no AMS) (Ortlieb, Fournier, & Macharé, 1993).

Los cordones litorales del Chira fueron catalogados como no fosilíferos, y se expuso que todo el material fechado de las crestas consistió en conchales y fragmentos de carbón que fueron posteriores a los episodios de formación de crestas. Las conchas que cubrían las crestas fueron abandonadas por los primeros habitantes que vivieron extensamente de este recurso marino, y la mayoría de las muestras fueron recolectadas a unos centímetros por debajo de la superficie de las crestas arenosas (Ortlieb, Fournier, & Macharé, 1993).

El estudio demostró que las secuencias tienen rasgos geomorfológicos y sedimentológicos diferentes entre sí, pero que en ambos casos su formación implicó condiciones meteorológicas y procesos oceanográficos que caracterizan eventos El Niño muy fuertes. Por otro lado, los fechamientos por radiocarbono de conchas marinas y carbón muestreados dentro y encima de los cordones sugieren que las dos series se fueron formando paralelamente en los últimos 4500 años y que los cordones se habrían formado a intervalos de tiempo de 100-600 años (Ortlieb, Fournier, & Macharé, 1993).

Además, la comparación geomorfológica, la disposición geométrica y el conjunto de datos geocronológicos llevaron a establecer una correlación cronológica entre las dos secuencias. Esta correlación sugiere que al menos once procesos de formación de crestas ocurrieron en los últimos 5,000 años, y al menos diez en los últimos 4,000 años. La cordillera más antigua conservada en Chira se formó hace más de 5.000 años (Ortlieb, Fournier, & Macharé, 1993).

Por último, los autores también exponen que, en los últimos 3,600 años, el período de tiempo entre los eventos de formación de cordones probablemente pudo haber variado y que la formación de las crestas parece compatible con eventos de El Niño muy fuertes o excepcionales, siendo la estimación de la intensidad de los eventos responsables al menos tan fuerte como la del evento de 1982-1983 (Ortlieb, Fournier, & Macharé, 1993).

### **5.2.2 Secuencia de Colán**

La secuencia de Colán se ubica al sur de la desembocadura del río Chira, debiéndose esta situación singular al hecho de que los cordones están contruidos sobre la misma planicie costera que la secuencia de Chira. Sus crestas están compuestas principalmente de guijarros

erosionados de un conglomerado que afloran en un paleo-acantilado que sobresale (Ortlieb, Fournier, & Macharé, 1993).

En la investigación realizada por Ortlieb et al. y publicada en 1989, se realizó dataciones con radiocarbono a las conchas incluidas en los cordones, proporcionando así una cronología. Para los análisis geocronológicos se escogió conchas como *Donax Peruvian* y *Tivela Hians*, de las cuales se seleccionó a los ejemplares mejor conservados. Estas se compararon con los fragmentos de carbón que se encontró en los sedimentos. Ambos restos orgánicos quedaron atrapados en pequeñas cantidades en los sedimentos, por lo cual se tomaron en cuenta (Ortlieb, Macharé, Fournier, & Woodman, 1989).

Se destacó que la secuencia de cordones de Colán se diferencia a las demás por su ubicación geográfica, ya que es la única que no está ubicada en la orilla norte de la desembocadura de un río. Además, los cordones de Colán son más angostos y reducidos que las otras secuencias de cordones peruanos. Miden entre 15 y 50 m de ancho y de 1 a 3.5 de alto y varios kilómetros de largo (Ortlieb, Macharé, Fournier, & Woodman, 1989).

Esta secuencia presenta muchos caracteres que implica la ocurrencia de eventos como El Niño. Como los cordones están sobre arena fina, se interpreta que los cantos y acumulación de material debió producirse por eventos particulares como el fenómeno El Niño, los únicos capaces de mover grandes cantidades de material. Se considera que los eventos fueron de duración corta, aunque no se descarta que algunos cordones hayan sido construidos en un solo evento El Niño (Ortlieb, Macharé, Fournier, & Woodman, 1989).

Las dataciones muestran que estos eventos ocurrieron con una frecuencia que varía de 1 a 4 siglos. Además, se menciona que los fenómenos registrados en este cordón serían los más intensos de los últimos 3200 años. La serie de ocho cordones litorales preservada en Colán representa un registro de los mayores eventos El Niño ocurridos entre 3200 y 800 año BP (Ortlieb, Macharé, Fournier, & Woodman, 1989).

En el estudio de Ortlieb et al. (1993) que reexaminaba los datos geocronológicos disponibles sobre de secuencias de cordones de Chira y Colán, se expuso que a diferencia de la mayoría de los cordones litorales peruanas, los cordones litorales de Colán son fosilíferos y contienen conchas de moluscos, percebes y equinoideos desgastadas, las cuales que pueden ser más antiguas que las crestas, y también pequeñas y bien conservadas conchas que pueden ser penecontemporáneas a la formación de la cresta. Por último, se expuso que en ambas secuencias su formación implicó condiciones meteorológicas y procesos oceanográficos que caracterizan eventos El Niño muy fuertes.

### **5.2.3 Secuencia de Sechura**

Se extiende al norte de la desembocadura del río Piura y consta de aproximadamente 8 crestas anchas y de 100 km de largo. Esta secuencia es similar a la del Chira en varios aspectos, pero faltan más estudios a profundidad (Ortlieb, Fournier, & Macharé, 1993).

A partir de los pocos resultados preliminares del  $C^{14}$ , se obtuvo que las conchas de *Donax* de la cresta más antigua del Holoceno indicaron una edad  $C^{14}$  de  $4320 \pm 170$  BP, mientras que la edad de la tercera cresta más joven fue de  $2270 \pm 170$  BP, aunque estos datos no fueron publicados por los autores (Ortlieb, Fournier, & Macharé, 1993).

En un muestreo preliminar realizado en la subsuperficie del cordón más antiguo y de los dos cordones más recientes permitió identificar unas 33 especies de moluscos, un equinodermo (*Encope sp.*) y un cirrípedo (*Balanus sp.*). De estas especies, *Donax obesulus* Reeve es particularmente abundante, lo que indica la prevalencia de un ambiente arenoso. En el penúltimo cordón formado, la presencia de numerosos individuos de *Cryptomya californica* (Conrad), *Glycymeris inaequalis* (Sowerby) y *Cerithidea valida* (C.B. Adams), indica que en las inmediaciones del cordón existía un ambiente protegido de sustrato areno- fangoso (tipo manglar). En general, las especies representadas en los cordones de esta área reflejan los diversos hábitats que aún existen en la actualidad (Díaz & Ortlieb, 1991).

#### **5.2.4 Secuencia de Santa**

La secuencia ubicada al norte de la desembocadura del río Santa es una característica costera compleja que se desarrolló en los últimos 4000 años (Ortlieb, Fournier, & Macharé, 1993).

Las crestas de la playa de Santa se extienden por 20 km hasta al norte del río Santa, se pueden ver ocho crestas principales en el suelo, aunque son difícil de visualizar en las fotografías aéreas (Sandweiss, 1986).

Sus crestas están compuestas de grava y guijarros suministrados por el más grande de los ríos permanentes del Perú. El régimen hidrológico del río Santa parece no ser muy afectado por las anomalías meteorológicas de El Niño. Según estudios previos, existe una mala correlación entre los eventos de El Niño que ocurrieron en las últimas décadas y los cordones litorales más recientes formados en Santa. Debido a esto, esta secuencia no puede constituir un registro confiable de anomalías climáticas de El Niño durante los últimos milenios (Ortlieb, Fournier, & Macharé, 1993). Por otro lado, allí no se puede descartar la ocurrencia de grandes acarros de sedimentos debidos al desprendimiento de glaciales como el ocurrido durante el terremoto de 1970, en Huaraz (Woodman, Ronald, & Mabres, 1993).

#### **5.2.5 Secuencia de Máncora**

El nuevo cordón de arena, formado en 1983, se encuentra cerca a la línea de marca alta y presentaba la cresta de unos 1-1.5 m sobre el nivel del mar en marea alta. En la parte de atrás del cordón, quedó una pequeña albufera, restos de un pequeño estuario, parte del cual se llena y vacía con el subir y bajar de la marea (Woodman, Ronald, & Mabres, 1993).

En el trabajo de Woodman et al. (1993) se estudió la formación de un nuevo cordón en Máncora como consecuencia del evento extraordinario de El Niño de 1983, probablemente el más fuerte registrado en los últimos siglos desde la conquista española. Esto fue una

importante contribución al conocimiento sobre el origen de otras formaciones de similares características, por lo cual se presentó como evidencia de postulados para los cordones de Colán (Woodman, Ronald, & Mabres, 1993).

Debido a que no se tenían registros pluviales de Máncora, se tomaron en cuenta los datos de Zorritos, pueblo a 60 km al norte, donde las lluvias registradas fueron de 3960 mm en 1983, siendo esta cantidad muy relevante si se compara con los valores de precipitación anual de entre 300 y 600 mm que se obtuvieron en años de El Niño fuertes como los de 1939, 1941 y 1943, o con el más alto nivel registrado anteriormente, con 1500 mm durante el Niño extraordinario de 1925. Durante el evento de 1987 (también Niño fuerte), la precipitación anual registrada en la estación de Cañaverál, a escasos km al sur de Zorritos, fue de 859 mm (Woodman, Ronald, & Mabres, 1993).

Durante las lluvias, las quebradas llevaron una gran cantidad de piedras y sedimento, los cuales produjeron grandes depósitos frente a sus desembocaduras, incluyendo restos de edificios y obras públicas, que, en el caso de la Quebrada del Pozo, se adentraron unos 50 metros en el mar. Sin embargo, donde no se formaron esos depósitos el mar avanzó, porque en los meses en los que la intensidad del evento fue más alta, el nivel promedio del mar subió a 50 o 60 cm por encima de lo normal y las olas eran mucho más altas de lo habitual. El oleaje que normalmente era del sur y para el cual la bahía presentaba protección, pasó a ser de componente norte como consecuencia de tormentas extraordinarias en el Pacífico norte y del cambio de régimen de vientos. Hasta finales del mes de junio las lluvias no cesaron en el norte del Perú, permaneciendo también el nivel del mar en cotas por encima de lo normal (Carpio, 1999).

Los autores pensaron que la sucesión de hechos que habría formado al cordón era el siguiente: durante las lluvias de 1983 gran cantidad de sedimentos fue trasladada por las tres quebradas y depositada en las desembocaduras del Océano por Punta Máncora. Posteriormente, los sedimentos se fueron redistribuyendo uniformemente a lo largo de la costa y como en Máncora la marea es relativamente alta se transporta el sedimento a la playa. Otra posibilidad de la formación de la barra arenosa consistiría en que el nivel promedio de mar hubiese descendido en los meses de mayor intensidad del evento, dejando descubierta una barra de arena que estuvo sumergida en los meses de alto nivel marino (Carpio, 1999).

Tanto la secuencia de Máncora como la de Colán son muy similares, porque en las cercanías de Colán desemboca el río Chira, que es el río más caudaloso de la costa (en términos de avenidas máximas) y un eficiente portador de sedimentos. Su sensibilidad al Niño también es bien conocida, y en 1983 tuvo flujos nunca registrados. A esto se agregan los sedimentos, en especial los gruesos, aportados por la quebrada de Colán, la cual solo baja durante El Niños fuertes (Woodman, Ronald, & Mabres, 1993).

Entre sus diferencias está que en Colán se aprecian por lo menos ocho cordones antiguos mientras que en Máncora se aprecian sólo dos (el anterior y el actual). Los cordones antiguos de Colán están constituidos por cantos rodados, lo que los hace casi indestructibles una vez que son abandonados por el mar; por su parte, los de Máncora son de arena y es de suponer que así debieron ser en el pasado, pues no hay fuente de cantos como lo hay en Colán (Woodman, Ronald, & Mabres, 1993).

Otra diferencia es que en Máncora se formó un nuevo cordón en 1983, lo que no sucedió en Colán. Se especula que se requiere un evento del Niño aún mayor, o la combinación de múltiples eventos, que proporcionen la cantidad de sedimento crítico necesario para su retiro. Sin duda, la represa de Poechos, construida en 1971, redujo la cantidad de sedimentos en comparación con el pasado. La mayor parte de la cuenca del Chira está por encima de Poechos, y los sedimentos proporcionados por ésta ya no llegan al mar. Esto es un hecho que se puede comprobar en el puente de Sullana sobre el Chira, donde en la actualidad se puede apreciar que la parte superior de las zapatas de cimentación del puente están por encima del nivel libre del río. Se evidencia que el cauce ha sido erosionado y no recibe nuevos sedimentos de aguas arriba. También es posible que la línea de casas de La Esmeralda haya influido en una ubicación más permanente de la playa, por lo menos en su vecindad, que es donde se han realizado las observaciones que no muestran cambio (Woodman, Ronald, & Mabres, 1993).

Como conclusión, los autores exponen que los resultados muestran evidencia de que la formación de nuevos cordones litorales, dejando cordones litorales fósiles, es factible de ocurrir ante fenómenos extraordinarios de El Niño, siendo la formación un nuevo cordón en Máncora prueba de ello. Esto a su vez, hace factible la interpretación que los cordones litorales de Colán y del norte de la desembocadura del Chira fueron formados y/o abandonados de la misma forma; e incrementa la posibilidad de la importancia de estos cordones como fuente de información sobre la ocurrencia de Niños extraordinarios en el pasado, y de las variaciones climáticas a nivel global que los acompañan (Woodman, Ronald, & Mabres, 1993).

### **5.3 Estudios complementarios en diferentes registros naturales**

Se han realizado numerosos intentos para reconstruir la variabilidad de ENOS en el tiempo utilizando varios registros naturales como anillos de árboles, núcleos de hielo, sedimentos lacustres y registros de coral, los cuales amplían la información obtenida por los registros instrumentales e históricos.

Para el año 2011, se publicó una investigación realizada por Wilson donde se reconstruye la TSM de la zona Niño 3.4 basadas en una variedad de datos proxy. Se comparan tres reconstrucciones de la TSM en el niño 3.4 realizadas anteriormente por otros autores, utilizando datos de corales en el Pacífico Central, anillos de árboles en la región TexMex de los EE. UU y corales y un núcleo de hielo en otras regiones de los Trópicos (Wilson, y otros, 2010).

Dicha reconstrucción obtenida se realiza en 2 regiones, la primera es la denominada “Centro de acción” (COA), situada en el pacífico central y oriental, y comprende data desde el año 1850 a 1998. En esta área la TSM está correlacionada de forma positiva con la TSM del niño 3.4. La segunda región es la de la teleconexión (TEL), abarca zonas tropicales en las que la TSM está correlacionada de forma inversa con la TSM del niño 3.4 (Wilson, y otros, 2010).

Las reconstrucciones en las que se basa están fuertemente calibradas, sin embargo, presentan un debilitamiento significativo en el siglo XIX, lo cual podría ser causa de la insuficiencia de datos o la influencia del ENSO. Además, según los resultados, aunque las series tienen un comportamiento similar al ENSO, no parecen ser consistentes en espacio y tiempo, lo cual puede reflejar distintos tipos de variabilidad del ENSO dependiendo la ubicación en el Pacífico Tropical (Wilson, y otros, 2010).

En el año 2005, un equipo de investigadores liderado por Cook et al., realizaron una reconstrucción de datos de Fenómenos El Niño de Diciembre a febrero en la zona Niño 3 del Océano Pacífico. Esta reconstrucción está conformada por registros de temperaturas superficial del mar, basadas en 14 cronologías de anillos de árboles de la zona Norte de México y Texas, Estados Unidos, para investigar aspectos de la variabilidad ENOS durante los últimos seis siglos (1408–1978 d. C.) (D’Arrigo, Cook, Wilson, Allan, & Mann, 2005).

Por otro lado, se hizo una comparación con una reconstrucción de anillos de árboles del Índice de Oscilación del Sur de diciembre-febrero (SOI), la cual abarca desde 1706 – 1977 (D’Arrigo, Cook, Wilson, Allan, & Mann, 2005). Esta reconstrucción se basa en 14 cronologías de anillos de árboles de la zona subtropical de América del Norte y refleja una buena teleconexión del ENSO con esta región (Stahle, y otros, 1998). Dicha comparación, dio como resultado una correlación de - 0.77. Esto indica que se relacionan de forma inversa la anomalía de la temperatura del mar en la Región Niño 3 y el SOI (D’Arrigo, Cook, Wilson, Allan, & Mann, 2005).

La reconstrucción realizada fue calibrada con la temperatura superficial del mar en la zona Niño 3. Los registros de los anillos de los árboles obtuvieron que los anchos de los anillos son sensibles a la humedad. Según Cook, esta zona presenta una fuerte señal de eventos ENOS, las más fuertes que hayan sido detectadas. Sin embargo, se cree que este comportamiento pudo variar en el tiempo debido a las teleconexiones. La reconstrucción de Cook, como se menciona en la investigación, presenta valores positivos asociados a los periodos más calientes, de Fenómeno El Niño y más frío en periodos de La Niña. (D’Arrigo, Cook, Wilson, Allan, & Mann, 2005).

En el año 2008, se publicó una reconstrucción de los índices Niño 1+2, 3, 3.4 y 4, realizada por Cook, E.R.; D’Arrigo, R.D.; Anchukaitis, K.J, a partir de anillos de árboles de México y Texas. Abarca desde el año 1300 – 1979, sin embargo, solo fue verificada a partir del año 1400. Las 4 reconstrucciones son muy similares, ya que se basan en reconstruir la

variabilidad de la temperatura superficial del mar en el pacífico tropical en los meses de diciembre, enero y febrero (Cook, D'Arrigo, & Anchukaitis, 2008).

En el año 2011, un equipo internacional de científicos, encabezado por Jinbao Li, utilizaron datos de los anillos de los árboles de América del Norte, región cuyo hidroclima es sensible a las anomalías climáticas del Pacífico tropical en varias escalas de tiempo, para producir un registro continuo de resolución anual de la variabilidad del ENSO para el último milenio (900-2002) (Li, y otros, 2011).

Este registro mostró una correlación significativa con las temperaturas de la superficie del mar del Pacífico ecuatorial durante el período instrumental de 1870-2002 (su correlación con el índice ENSO Niño3 de enero-marzo fue de 0.51), con un registro de coral moderno de la isla Palmyra en el Pacífico tropical central ( $r = -0.58$ ) para el período de 1891-1994, entre otros registros indirectos independientes en el Pacífico y sus alrededores como los corales de Galápagos, los anillos de árboles de Chile, los Anillos de árboles de Vietnam, los sedimentos de México y sedimentos de Washington, durante la mayoría de sus períodos comunes.

Adicional a esto, los científicos señalaron dos observaciones sobre las comparaciones de proxies anteriores: en primer lugar, a diferencia de la base de datos de las dos mil cronologías de anillos de árboles en toda América del Norte, los otros datos indirectos a menudo consisten en una sola serie para un sitio determinado, y son propensos al ruido caótico y la variabilidad regional; y en segundo lugar, la estabilidad a largo plazo de la influencia del ENSO en otras regiones de teleconexión requiere más investigación, a diferencia de Norteamérica, donde se validó una relación persistente con el ENSO durante el último milenio (Li, y otros, 2011).

El equipo comprobó que, si bien los árboles del suroeste de Estados Unidos como los corales del Pacífico tropical son sensibles a El Niño, los registros de los corales suelen ser breves, mientras que los registros de los anillos de los árboles de América del Norte proporcionaron un registro continuo de El Niño de casi 1100 años. Este registro reveló que la intensidad de El Niño ha sido muy variable, con décadas de fuertes eventos de El Niño y décadas de poca actividad, y que la actividad más débil de El Niño ocurrió durante la Anomalía Climática Medieval en el siglo XI, mientras que la actividad más fuerte ha sido desde el siglo XVIII. Estos diferentes períodos de actividad de El Niño están asociados con cambios a largo plazo en el clima del Pacífico. Por último, los núcleos de sedimentos lacustres de las Islas Galápagos, el norte de Yucatán y el Noroeste del Pacífico mostraron que el clima tropical en el Pacífico oriental y central oscila entre fases cálidas y frías, cada una con una duración de 50 a 90 años. Durante las fases más cálidas, los eventos de El Niño y La Niña suelen ser más intensos de lo habitual. Durante las fases frías, apenas se desvían de los promedios a largo plazo, como durante la Anomalía Climática Medieval cuando el Pacífico tropical oriental estaba frío (Li, y otros, 2011).

Años más tarde, en el 2013, el mismo equipo desarrolló una reconstrucción ENSO para los últimos siete siglos basada en 2 222 cronologías de anillos de árboles pertenecientes a Nueva Zelanda, Asia y América del Norte y del Sur. La reconstrucción se centra en el índice Niño3.4 de invierno (noviembre-enero) y abarca el período 1301-2005, mientras que las anomalías de la TSM fueron relativas a la media de las TSM observadas durante el periodo 1971-2000 (Li, y otros, 2013).

La inclusión de registros tropicales permitió lograr una mejora importante con respecto a trabajos anteriores, lo cual se confirmó a través de las altas correlaciones con los corales ecuatoriales del Pacífico y la modulación coherente de las teleconexiones globales que son consistentes con la reconstrucción de temperatura independiente del hemisferio norte. De esta red de anillos de árboles, las señales ENSO fuertes se encontraron en anillos de árboles de siete regiones: dos en los trópicos (continente marítimo y altiplano sudamericano), tres en el hemisferio norte de latitud media (Asia central, suroeste de América del Norte y el noroeste del Pacífico / Texas – México) y dos en el hemisferio sur de latitud media (norte de Nueva Zelanda y centro-oeste de Argentina). Como parte del procedimiento, se extrajo la variabilidad regional de los anillos de los árboles mediante un análisis de componentes principales o el desarrollo de una cronología regional (Li, y otros, 2013).

Los resultados obtenidos revelaron que los ciclos ENSO significativos se encuentran en el rango interanual (2–7 años) y decenal (8–13 años), respectivamente. Por otro lado, la investigación mostró que la variabilidad interanual ha persistido a lo largo de los últimos siete siglos, mientras que la variabilidad decenal se ha debilitado durante la mayor parte del siglo XVI y XX. Los resultados sugirieron que la variabilidad decenal es un componente significativo del sistema ENSO y ha sido subestimada por los datos instrumentales (Li, y otros, 2013).

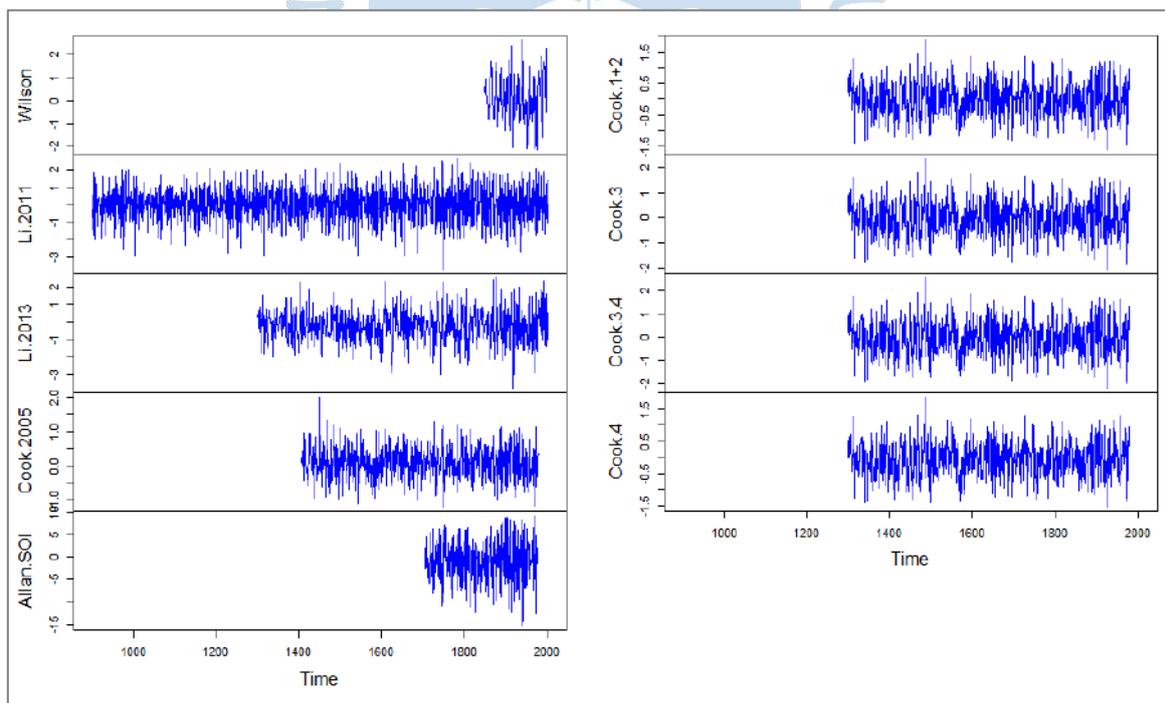
Los autores también observaron que la varianza del ENSO es baja en el período inicial de Pequeña Edad de Hielo (1300 a 1550) y alta en el siglo XX. Señalaron que la actividad del ENOS a finales del siglo XX fue anormalmente alta durante los últimos siete siglos, lo que implica que este fenómeno climático está respondiendo al calentamiento global en curso, viendo que muchos modelos climáticos de última generación subestiman su sensibilidad a las perturbaciones radiativas (Li, y otros, 2013).

Además, se observó una respuesta robusta del ENSO a grandes erupciones tropicales, con un enfriamiento anómalo en el Pacífico tropical centro-este en el año de la erupción, seguido de un calentamiento anómalo un año después. Al igual que los gases de efecto invernadero, los aerosoles volcánicos perturban el equilibrio de radiación de la Tierra; esto respalda la idea de que la actividad de ENOS, inusualmente alta a finales del siglo XX, es una huella del calentamiento global. Esto demostró la complejidad de la dinámica ENOS, lo cual exige más investigaciones sobre la sensibilidad a la magnitud y la escala de tiempo de forzamiento radiativo. Las observaciones de esta investigación proporcionan limitaciones cruciales para mejorar los modelos climáticos y sus proyecciones futuras (Li, y otros, 2013).

En la Tabla 46 se presenta un resumen de las reconstrucciones paleoclimáticas del ENSO antes mencionadas, y en la Figura 115 se presenta cada serie de tiempo de las mismas. La data se obtuvo de la página web de la NOAA / Servicio Mundial de Datos para archivos de Paleoclimatología (<https://www.ncsl.noaa.gov/access/paleo-search/>), con una resolución anual.

**Tabla 46. Reconstrucciones paleoclimáticas del ENSO**

Etiqueta	Referencia	Periodo	Tipo proxy	Zona Niño	Reconstrucción
Allan SOI	Stahle et al. (1998)	1706-1977	Anillo de árbol	3	SOI
Cook 2005	Cook et al. (2005)	1408-1978	Anillo de árbol	3	TSM
Cook 1+2	Cook et al. (2008)	1301-1979	Anillo de árbol	1+2	TSM
Cook 3	Cook et al. (2008)	1301-1979	Anillo de árbol	3	TSM
Cook 3.4	Cook et al. (2008)	1301-1979	Anillo de árbol	3.4	TSM
Cook 4	Cook et al. (2008)	1301-1979	Anillo de árbol	4	TSM
Wilson	Wilson et al. (2010)	1850–1998	Coral	3.4	TSM
Li 2011	Li et al. (2011)	900–2002	Anillo de árbol	3	TSM
Li 2013	Li et al. (2013)	1301-2005	Anillo de árbol	3.4	TSM



**Figura 115. Serie de tiempo de las reconstrucciones paleoclimáticas del ENSO**

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 47 se presenta la matriz de correlación de las reconstrucciones paleoclimáticas del ENSO (1300-1979) y se añadió a la matriz la data histórica de Paita (1963 - 1979) obtenida de los registros instrumentales.

**Tabla 47. Matriz de Correlación de Registros Naturales**

	Wilson	Cook 3.4	Cook 1+2	Cook 3	Cook 4	Li 2011	Li 2013	Cook 2005	AllanSOI	Paita
Wilson	1.000									
Cook 3.4	0.524	1.000								
Cook 1+2	0.521	0.992	1.000							
Cook 3	0.527	0.998	0.996	1.000						
Cook 4	0.515	0.990	0.975	0.981	1.000					
Li 2011	0.274	0.653	0.656	0.652	0.642	1.000				
Li 2013	0.416	0.628	0.645	0.634	0.608	0.552	1.000			
Cook 2005	0.450	0.834	0.858	0.849	0.793	0.730	0.701	1.000		
AllanSOI	-0.432	-0.745	-0.768	-0.755	-0.723	-0.710	-0.644	-0.853	1.000	
Paita	0.164	0.466	0.482	0.473	0.447	0.345	0.470	0.528	-0.501	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Las reconstrucciones relacionadas a los índices Niño presentaron altas correlaciones de entre 0.42 a 0.99, con una sola excepción de 0.28. Con respecto a la reconstrucción del SOI con las demás, presentaron altas correlaciones de entre -0.43 y -0.85. Las series de Cook mostraron una alta correlación, a pesar de que son en distintas áreas del Océano Pacífico, mientras que la serie de Wilson es la que tiene menor correlación con las demás series.

Como se ha mencionado anteriormente, las series naturales estudiadas a partir de anillos de árboles representan las anomalías de temperatura superficial del mar. Es así como, se realizó un análisis estadístico con la finalidad de hallar posibles eventos Niño. Para ello, se halló el promedio y la desviación estándar de cada serie, hallando así los valores atípicos. Al hallar los posibles eventos se tomó en cuenta un periodo en común entre la mayor parte de las series, obteniendo el periodo de 1300 – 1979. Así también, se consideró que los valores atípicos positivos representan un aumento anómalo de la TSM, es decir, un posible evento el niño. Por otro lado, un valor atípico negativo representa un evento la Niña.

La reconstrucción de posibles eventos Niño hallada se puede observar en el Apéndice 2, con aproximadamente 100 eventos Niño en el periodo de 1300 -1979. Para ello se tomó en cuenta que la mayor parte de estudios indiquen ocurrencia de eventos Niño. Además, aquí se puede ver si coincide con los otros tipos de registro estudiados anteriormente.

#### **5.4 Guía de un estudio dendrocronológico en muestras de *Prosopis Pallida***

Para el presente estudio se utilizaron las muestras de las secciones transversales de Algarrobo (*Prosopis pallida*) empleadas en la investigación *Prosopis Sp. Biomass Estimation*

realizada por Walter Chanavá en la Estación Meteorológica de la Universidad de Piura, la cual fue publicada en el 2019 (<https://rpubs.com/Walter2035/532696>). De dichas muestras, se seleccionaron las que presentaron mayor número de anillos con la finalidad de realizar el respectivo análisis dendrocronológico.

Para que una serie dendrocronológica tenga validez, se necesita que la muestra presente como mínimo 40 anillos. Dichas muestras no llegaban a ese valor, sin embargo, para fines explicativos, se trabajó con ellas para desarrollar la presente guía metodológica.

A continuación, se explicarán los pasos necesarios para desarrollar el estudio.

#### **5.4.1 Muestreo de campo**

Se recomienda trabajar con al menos 25 cortes transversales, ya que para realizar la construcción cronológica se necesitan como mínimo 15 muestras que cumplan con las condiciones para el análisis.

Para la extracción de las muestras se necesita la aprobación del SERFOR y de las comunidades rurales cercanas, debido a que la tala de árboles, especialmente de los más viejos, está prohibida, porque el bosque seco norperuano es un ecosistema escaso y en peligro de extinción. Sin embargo, para el estudio se tienen que seleccionar árboles de más de 30 años, que hayan crecido en condiciones similares de micrositio y competencia, y que estén ubicados a una distancia mínima de 20 m entre sí, en un área rectangular de 1 ha. También se tiene que tomar en cuenta la altura en la que se tomarán las muestras.

La fase de campo para la obtención de las muestras trabajadas en este estudio contó con la aprobación de las personas involucradas. Se recogieron diez cortes transversales, un número relativamente pequeño de muestras de árboles para analizar. Las secciones se tomaron a una altura de 30 cm del suelo.

#### **5.4.2 Preparación de la muestra**

Para poder trabajar con las muestras, estas deben estar secas. Por ello, se pueden dejar secar al aire o emplear una secadora.

El siguiente paso es el lijado. Las muestras de las secciones transversales se pulen con papel de lija de diferente intensidad, desde P24 hasta P2500, hasta que los vasos sean claramente visibles bajo un microscopio binocular o estereoscopio. Las diez muestras escogidas se tuvieron que volver a pulir para eliminar raspones nuevos que se formaron mientras estuvieron guardadas.

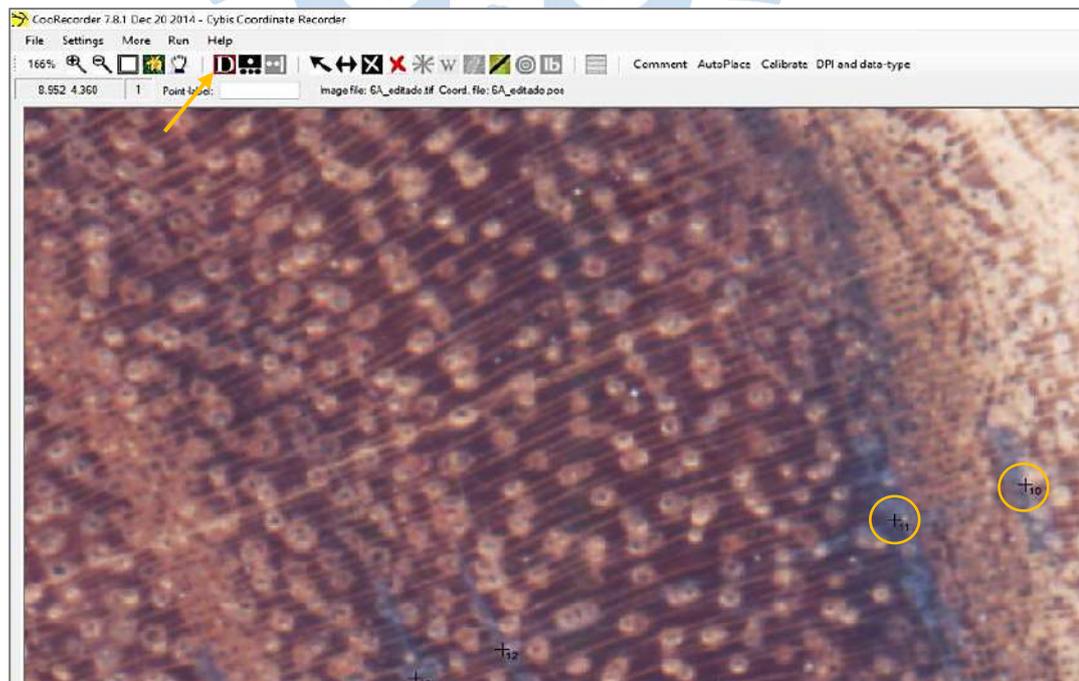
Debido al crecimiento radial irregular del Algarrobo, los anillos de los árboles se analizaron en todo el disco para detectar anillos falsos o dobles. Se seleccionan dos o más radios en cada sección transversal, dependiendo del estado de la muestra. Haciendo uso del estereoscopio, se detectaron los anillos que pasan por el radio y se marcaron con un lápiz de

punta lo más fina posible (0.5 mm HB). El estereoscopio utilizado fue de la marca Zeiss, modelo Stemi 2000-C.

Cuando se encontraron todos los anillos posibles en cada muestra, se procedió a escanearlas. El escáner utilizado fue de la marca HP, modelo Scanjet G2410. Se debe tener en cuenta que, debido al tamaño de la muestra, el escáner no cerrará por completo y, por lo tanto, quedan espacios donde ingresa la luz, los cuales deben ser cubiertos en su totalidad para obtener una mejor resolución. Las imágenes obtenidas se editaron en Photoshop para mejorar la visualización de los anillos.

Para calibrar la anchura del anillo en cada radio de cada sección, se tomó de referencia una medida de 0.01mm en la muestra y en la imagen escaneada se dibuja una línea en el lugar de referencia. Esto se realiza en cada muestra. Cada imagen escaneada se debe guardar en formato "tiff" para que los programas que se usarán posteriormente puedan tener una imagen de calidad.

También se debe tener en cuenta el coeficiente de correlación entre las muestras durante la eliminación y adición, respectivamente, de los anillos dobles y ausentes. Debido a estas correcciones necesarias, se promediaron los radios del mismo disco para evitar replicaciones de anillos. La medición de la anchura de los anillos se realizó con Coorecorder y CDendro 7.8 (ver Figura 116). En Coorecorder es necesario calibrar la imagen con medida de referencia antes usada, con la opción "calibrate". Luego, se debe marcar cada anillo en cada radio de las muestras, esto para poder enumerarlos. Esto se realiza con la opción "Data picking mode".



**Figura 116. Selección de anillos en la imagen con programa Coorecorder**

Fuente: Fuente Propia

Después de guardar el archivo editado en Coorecorder, se procede a abrir en CDendro, para obtener el ancho de los anillos (ver Figura 117), los cuales se pueden ver en la parte inferior.

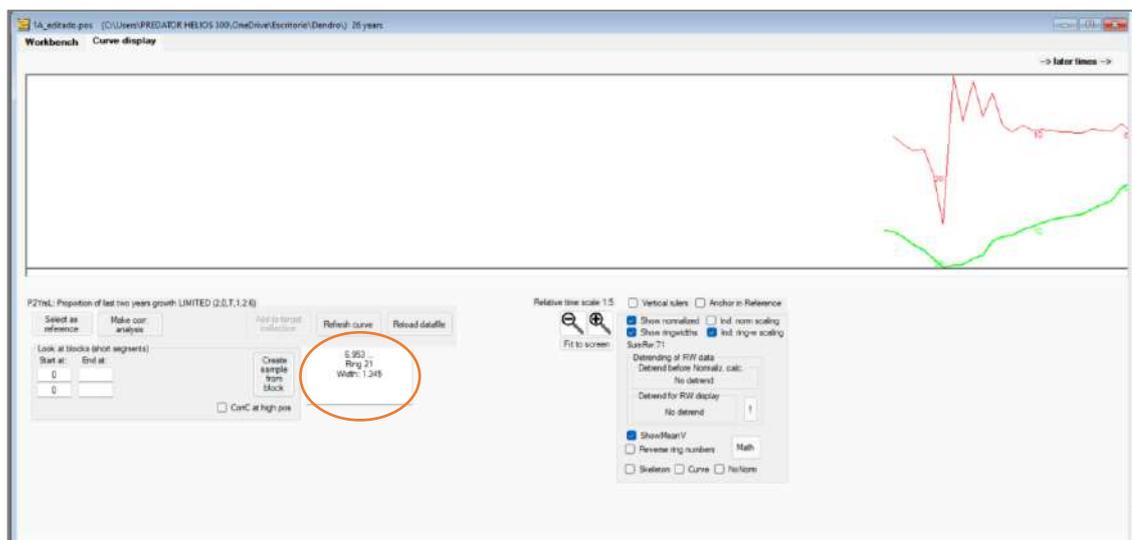


Figura 117. Medición de anillos con programa CDendro

Fuente: Fuente Propia

### 5.4.3 Construcción cronológica

Como se mencionó antes, para realizar una cronología anual de la anchura de los anillos de los árboles, se necesitan un mínimo 15 muestras. En el ejemplo realizado solo se contó con 10, por ello, solo se pudo obtener la edad de los árboles, los cuales tienen entre 20 a 30 años aproximadamente.

Todas las series de anillos de los árboles se deben preponderar y bponderar para eliminar la variación no relacionada con los factores climáticos durante el proceso de estandarización, permitiendo así determinar la correlación entre las series dentro de cada población y así poder obtener una buena cronología.

## Capítulo 6

### Impacto de la variabilidad climática en el sector agrícola y pesquero

El comportamiento de variables climáticas como la precipitación y la temperatura del aire, especialmente durante los años de intensos eventos El Niño, impactan en el sector agrícola y pesquero de la costa norte del Perú. Si bien sus efectos pueden llegar a ser tanto negativos como positivos, estos deben ser evaluado con detalle.

Se trabajaron con los datos climáticos de las 5 estaciones meteorológicas obtenidos en el capítulo 4, las cuales se promediaron en RStudio para obtener una sola data general en escala anual. En este software también se realizaron las matrices de correlación de las variables, ya que permitía visualizar mejor las relaciones.

El software estadístico empleado para analizar cómo afectan las variables climáticas a estos sectores durante el periodo de estudio fue Minitab 19 debido principalmente a su simplicidad para la búsqueda, comparación y selección de modelos de regresión, y la validación de los mismos. Así también, se pudo trabajar con este software, porque ya se contaba con una menor cantidad de datos.

En este capítulo, se explicarán los resultados obtenidos de las pruebas estadísticas, y, por último, se obtendrá un modelo final para cada cultivo y uno para el desembarque de pesca directa.

#### 6.1 Impacto de la variabilidad climática en el sector agrícola

Con los datos de precipitación acumulada y temperaturas del aire anuales obtenidos en el Capítulo 4, se procedió a confrontarlos con los datos del Boletín Estadístico Mensual ([www.midagri.gob.pe/portal/boletin-estadistico-mensual-el-agro-en-cifras](http://www.midagri.gob.pe/portal/boletin-estadistico-mensual-el-agro-en-cifras)) de las campañas agrícolas 1995-2018 de maíz, arroz, limón y algodón, respectivamente, en la región de Piura.

Para el análisis de regresión, la variable dependiente será el rendimiento de la producción de cada cultivo, y las variables independientes serán el año, producción, precipitación y temperatura anual. Se evaluarán diferentes modelos utilizando la función *Mejores subconjuntos* del software Minitab 19, hasta determinar el modelo que mejor se ajuste.

### 6.1.1 Impacto de la precipitación y la temperatura en el rendimiento de la producción de maíz

En la Figura 118 se representa el comportamiento del rendimiento del maíz y la variabilidad interanual de la precipitación acumulada durante el periodo de 1995-2018. En los años 1998 y 2017, periodo de lluvias excesivas como consecuencia del FEN de esos años, hubo una ligera disminución en el rendimiento del maíz con respecto al año previo. En 1998, el rendimiento fue de 3237 kg/ha, lo que significó una pérdida del rendimiento de 1.2% con respecto al año anterior, mientras que en el 2017 se observa que el rendimiento fue de 3764 kg/ha y significó una pérdida del rendimiento de 8.5% con respecto al año anterior. Desde 1999 al 2016, se registraron lluvias anuales por debajo de los 300 mm; el rendimiento presentó una ligera tendencia ascendente hasta 2011, sin embargo, desde el 2012 al 2015 presentó una rápida tendencia negativa.

En base a estos dos fenómenos pluviales presentados, se puede interpretar que las altas precipitaciones afectan ligeramente el rendimiento del cultivo del maíz. Por ello, el maíz amarillo duro es un cultivo alternativo ante El Niño, aunque el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) recomienda adelantar las siembras ante posibles Niños (ANDINA, 2015).

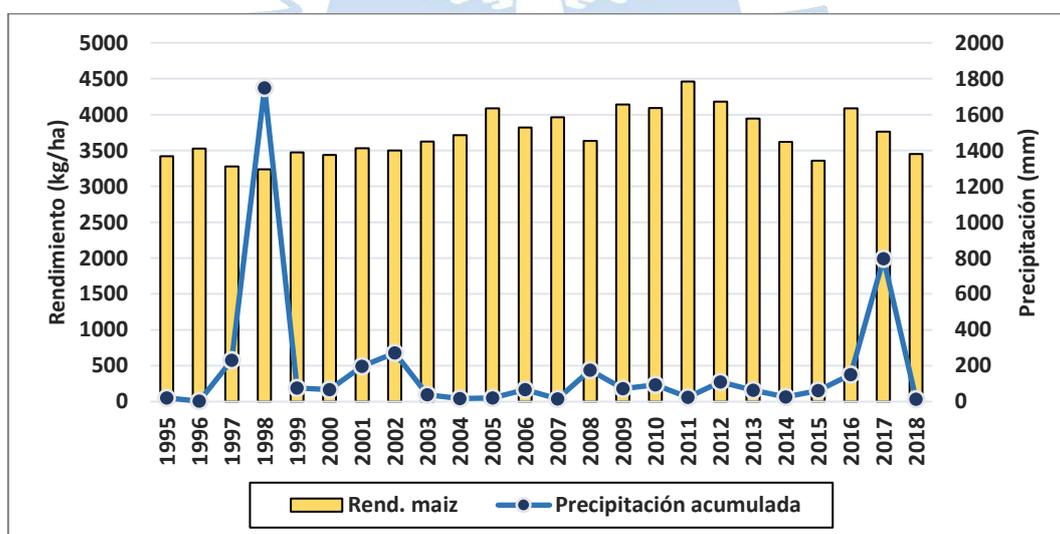


Figura 118. Análisis de la relación entre el rendimiento del maíz y la precipitación

Fuente: Elaboración propia

En el caso del comportamiento del rendimiento del maíz y la variabilidad interanual de las temperaturas durante el periodo de 1995-2018, los años de menor rendimiento fueron 1997, 1998 y 2015, años donde la temperatura máxima y mínima estuvieron por encima de su promedio. Los años de mayor rendimiento fueron 2005, 2011 y 2012, años donde las temperaturas estuvieron cercanos sus promedios (ver Figura 119).

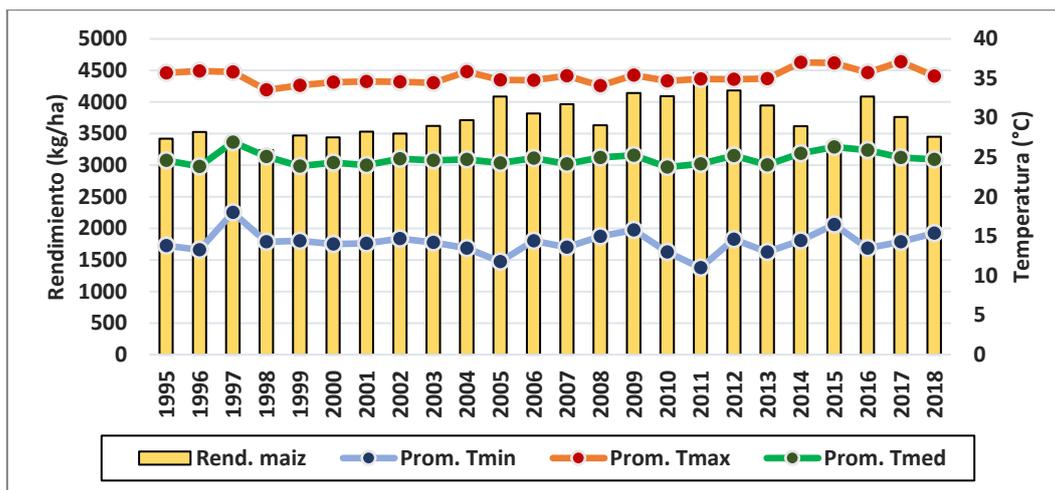


Figura 119. Análisis de la relación entre el rendimiento del maíz y temperaturas

Fuente: Elaboración propia

**6.1.1.1 Correlación y patrones de comportamiento entre las variables.** Se analizaron posibles patrones de comportamiento de correlación entre las variables a través de las gráficas de matriz de correlación, como se muestra en la Figura 120. Se puede observar que el rendimiento del maíz tiene mejor correlación con la temperatura mínima ( $R = -0.58$ ) y una correlación débil con la precipitación ( $R = -0.32$ ); mientras que la cosecha del maíz presenta una débil correlación con la temperatura máxima ( $R = -0.26$ ). La precipitación presenta las correlaciones más débiles, principalmente porque su distribución no es normal; esto debido a que existen valores atípicos, debido a las intensas lluvias, muy por encima de lo normal, propias del FEN. Mientras tanto, el rendimiento y la cosecha tienen una correlación moderada ( $R = 0.52$ ).

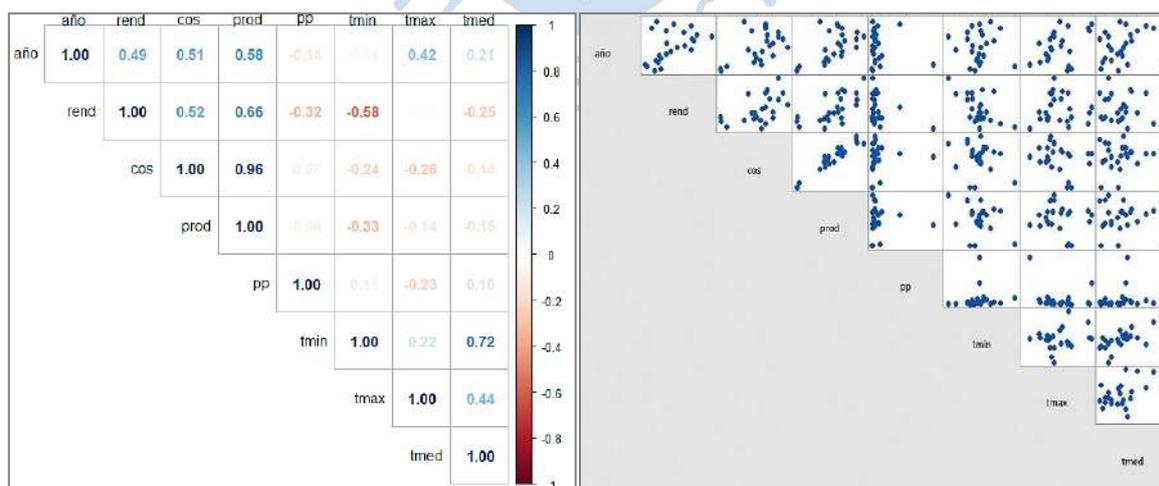


Figura 120. Comportamiento de las variables

Fuente: Elaboración propia

**6.1.1.2 Análisis de regresión para el rendimiento del maíz.** Debido a que ninguno de los modelos lineales previos cumplió con todos los supuestos, se aplicó una transformación Box-Cox  $\lambda = 0$  (transformación logarítmica) en Minitab para mejorar la significancia de las variables en el modelo. Los resultados que se obtuvieron fueron:

$$\ln(\text{rend}_i) = 1.31 + 0.00360 * \text{año}_i + 0.000008 * \text{cos}_i - 0.000061 * \text{pp}_i - 0.02927 * \text{tmin}_i + \varepsilon_i$$

Donde:

$\text{rend}_i$  = Rendimiento anual del maíz en el año  $i$  (kg/ha)

$\text{año}_i$  = Año de ocurrencia  $i$  (1995 – 2018)

$\text{cos}_i$  = Cosecha anual de maíz en el año  $i$  (ha)

$\text{pp}_i$  = Precipitación acumulada en el año  $i$  (mm)

$\text{tmin}_i$  = Temperatura mínima del aire en el año  $i$  (°C)

Por 1 °C que aumente la temperatura mínima del aire, el rendimiento disminuye en - 0.02927 kg/ha; por 1 mm que aumente la precipitación, el rendimiento disminuye en -2.953 kg/ha; por 1 ha de cosecha anual de limón, el rendimiento disminuye en -0.618 kg/ha; por último, por un año que aumente, el rendimiento disminuye en -196.6 kg/ha. Como se puede observar, la variable climática que tiene mayor impacto según este modelo es la temperatura media.

Coeficientes para respuesta transformada					
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	1.31	3.90	0.34	0.740	
año	0.00360	0.00197	1.83	0.083	1.42
cos	0.000008	0.000004	1.74	0.098	1.50
pp	-0.000061	0.000033	-1.87	0.077	1.07
tmin	-0.02927	0.00863	-3.39	0.003	1.10

Resumen del modelo para respuesta transformada			
	S R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
	0.0559217	65.87%	58.68% 44.07%

Análisis de varianza para respuesta transformada					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	4	0.114651	0.028663	9.17	0.000
año	1	0.010447	0.010447	3.34	0.083
cos	1	0.009471	0.009471	3.03	0.098
pp	1	0.010913	0.010913	3.49	0.077
tmin	1	0.035965	0.035965	11.50	0.003
Error	19	0.059417	0.003127		
Total	23	0.174069			

Figura 121. Coeficientes, resumen y ANOVA del modelo para el rendimiento del maíz

Fuente: Elaboración propia.

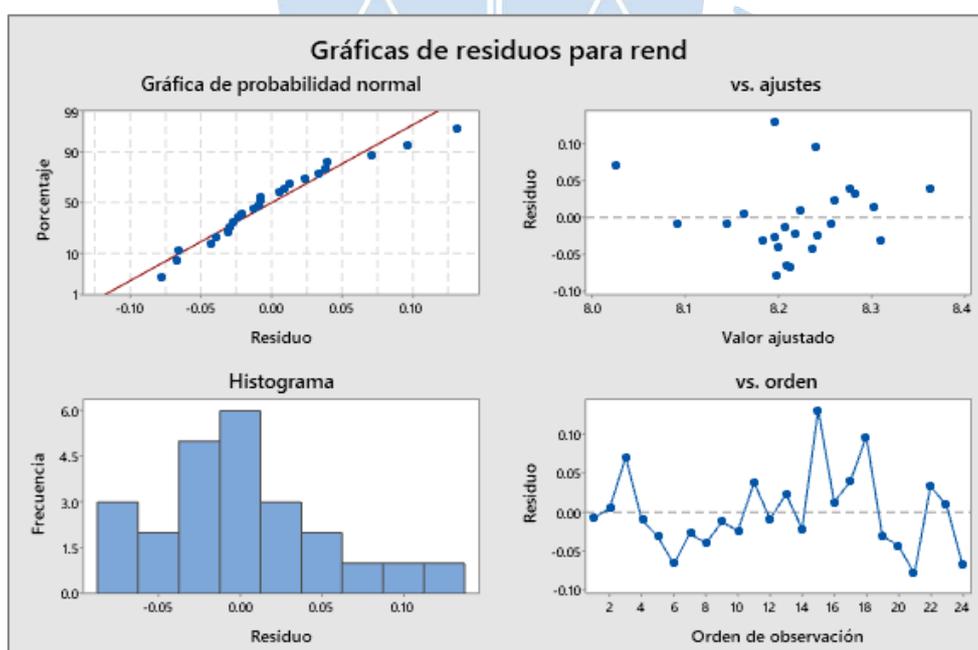


Figura 122. Gráficas de residuos para el rendimiento del maíz en el modelo de regresión

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos en la Figura 121 y Figura 122, se concluye que:

- De los coeficientes, la temperatura mínima es la única variable significativa, ya que su p-valor es menor a 0.05. Los valores de FIV de todas las variables independientes son buenos, ya que son menores a 5, lo cual indica que no hay autocorrelación.
- En este contexto, el  $R_{ajust}^2$  indica que el 58.68 % de la variable rendimiento anual del maíz es explicado por el modelo compuesto por cuatro variables: año, cosecha del maíz, precipitación y temperatura mínima.
- En el análisis de varianza obtenido, se cumple que el p-valor de la regresión es menor a 0.05, por lo que podría ser un buen modelo.
- Se muestran mejoras importantes en las gráficas de residuos luego de aplicar la transformación en comparación al de los datos originales, tanto en la normalidad como en la varianza de la variable transformada.
- La gráfica de probabilidad normal presenta valores residuales cercanos a la diagonal principal, correspondiente a una distribución normal, mostrando solo un punto más apartado al final. No se puede afirmar que existe normalidad.
- El histograma de los errores indica una distribución asimétrica, con cola moderada y alrededor del promedio (cero).
- El gráfico de residuo vs. ajustes de los valores deja en evidencia que los puntos se distribuyen arriba y debajo de la línea central, y con una varianza casi constante entre la zona  $\langle -0.10, 0.10 \rangle$ , con solo un valor fuera de ese rango.
- En la gráfica vs. orden no se muestra algún patrón, curvatura, tendencia o estacionalidad, lo cual evidencia la independencia de los errores.

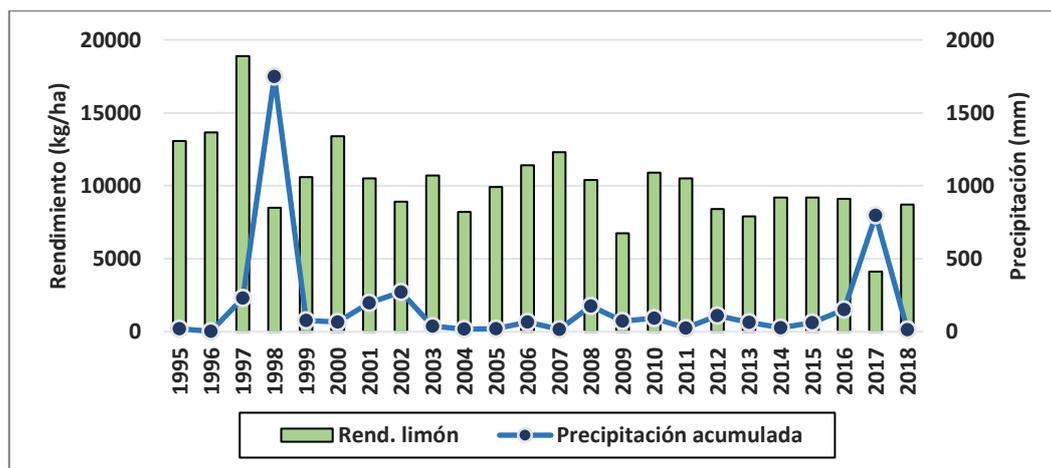
En función a los resultados anteriores, los gráficos de residuos, el  $R_{ajust}^2$  y el ANOVA permiten aceptar el modelo, pero los p-valor de casi todas las variables aún no cumplen con la condición crítica de  $\langle 0.05$ , y es el principal factor por el que se rechaza de este modelo.

### **6.1.2 Impacto de la precipitación y la temperatura en el rendimiento del limón**

En la Figura 123 se puede observar el comportamiento del rendimiento del Limón frente a la precipitación anual acumulada. Se visualiza que en los años 1998 y 2017 se presentaron eventos El Niño que afectaron en mayor grado la costa peruana. En estos se registra un bajo rendimiento, con respecto a años anteriores, siendo el año 2017 en valor más bajo con 4127 kg/ha y una reducción de 54.6 % respecto al año anterior. Así, para el año 1998 se muestra una caída en el rendimiento, con un valor de 55%. También, se observa que el año anterior al fenómeno El Niño, presentan un rendimiento alto. El Fenómeno 1997-1998 es el más notorio, donde el año 1997 presenta un rendimiento de 18900 kg/ha, siendo el valor más alto en el periodo 1995-2018. Además, a pesar de que se presentó un fenómeno de tal magnitud, el año 2019 se pudo recuperar el rendimiento de la producción. Por otro lado, para

el Fenómeno del 2017, el año pre-Niño, presenta un rendimiento muy similar al año Post-Niño.

Se puede deducir que este fenómeno solo afecta al año donde tiene mayor presencia de lluvias, como se sabe, en un fenómeno de este tipo, la precipitación se presenta en los meses de verano, con más fuerza entre febrero a marzo. Sin embargo, el Limón es un cultivo que se cosecha todo el año, por lo que, al tener una baja en los primeros meses del año por los fenómenos, entonces el valor anual también es menor.



**Figura 123. Análisis de la relación entre el rendimiento del limón y la precipitación**

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 124 se observa el comportamiento del rendimiento del Limón frente a las temperaturas mínima, máxima y media. El año 1997, donde se presenta mayor rendimiento, las temperaturas alcanzan valores altos. Para la temperatura mínima y media, son los valores más altos registrados en el periodo de 1995-2018. Por otro lado, el máximo valor en temperatura máxima se alcanza en el año 2017, y en ese año el rendimiento es el más bajo del periodo. Por ello, es difícil afirmar que tengan una relación directa el rendimiento y la temperatura del aire.

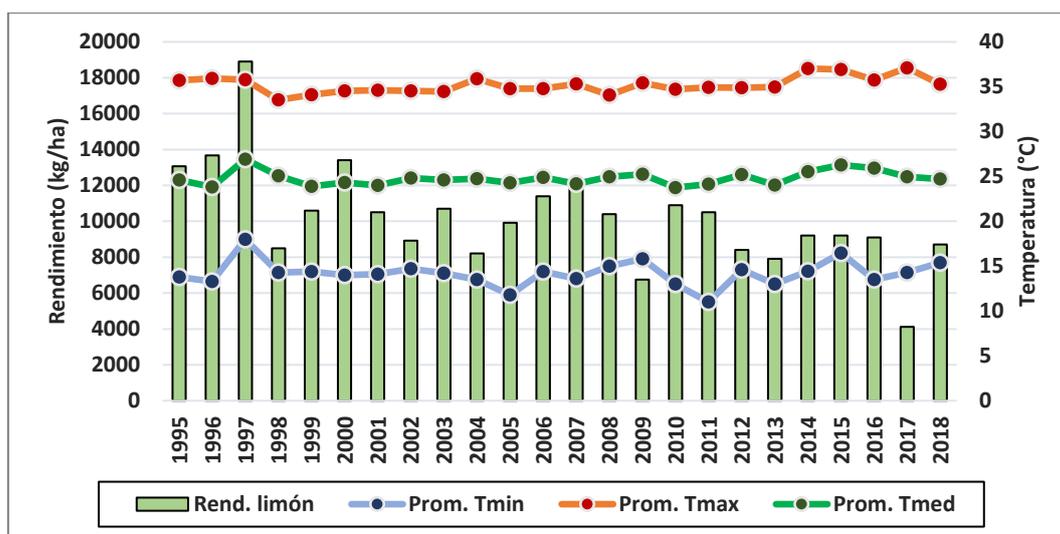


Figura 124. Análisis de la relación entre el rendimiento del limón y temperaturas

Fuente: Elaboración propia

Es importante resaltar que los aspectos climáticos no solo afectan a la cosecha del cultivo, si no también, a la cadena de suministro, impactando así en los precios. Así también, según un caso explicado por (Del Águila & Giovanni, 2017) en el año 2017, en los meses de lluvia se podía observar el inicio de plagas y enfermedades en las plantas de Limón. Además, debido a las inundaciones, muchos obreros responsables de cultivar la tierra estaban incomunicados o se quedaban en casa para prestar ayuda a sus comunidades y/o familia, retrasando así las labores de campo.

**6.1.2.1 Correlación y patrones de comportamiento entre las variables.** Se analizaron posibles patrones de comportamiento de correlación entre las variables a través de las gráficas de matriz de correlación, como se muestra en la Figura 125. Al analizar la variable rendimiento del limón, se observa que tiene baja correlación con las variables climáticas: la mayor correlación es con la temperatura mínima ( $R = 0.21$ ) y tiene una débil correlación con la precipitación ( $R = -0.27$ ). En el caso de la lluvia, tal y como se mencionó antes, se puede deber a los valores atípicos en los años Niño, esto no permite que sea una variable que ayude a explicar el rendimiento de la producción del limón. Mientras tanto, el rendimiento y la cosecha tienen una correlación alta ( $R = -0.68$ ).

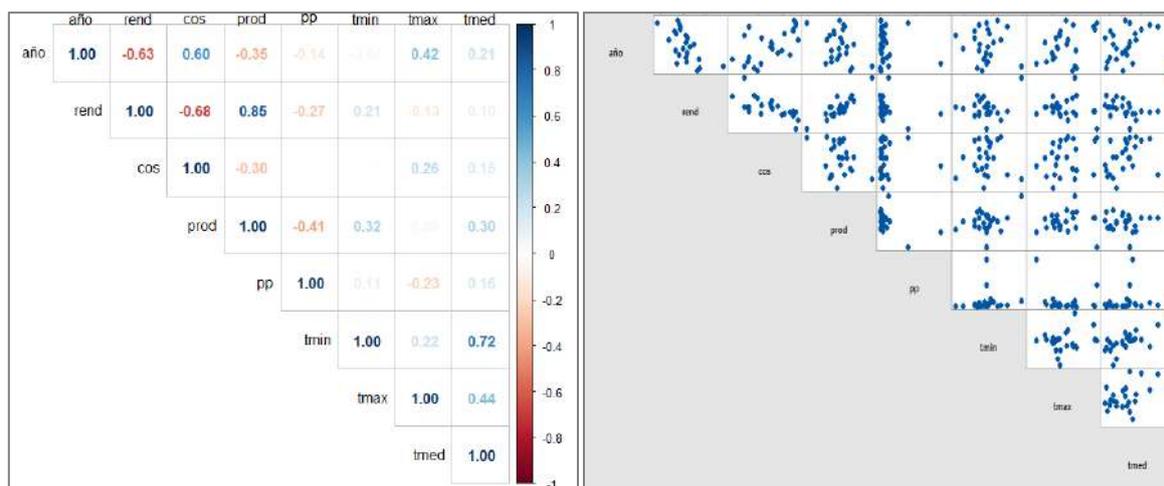


Figura 125. Comportamiento de las variables

Fuente: Elaboración propia

**6.1.2.2 Análisis de regresión para el rendimiento del limón.** Después de evaluar los diferentes modelos que mejor expliquen el rendimiento de la producción del limón, se obtuvo el siguiente modelo:

$$rend_i = 384860 - 196.6 * año_i - 0.618 * cos_i - 2.953 * pp_i + 1166 * tmed_i + \varepsilon_i$$

Donde:

$rend_i$  = Rendimiento anual del limón en el año  $i$  (kg/ha)

$año_i$  = Año de ocurrencia  $i$  (1995 – 2018)

$cos_i$  = Cosecha anual de limón en el año  $i$  (ha)

$pp_i$  = Precipitación acumulada en el año  $i$  (mm)

$tmed_i$  = Temperatura media del aire en el año  $i$  (°C)

Por 1 °C que aumente la temperatura media del aire, el rendimiento aumenta 1 166 kg/ha; por 1 mm que aumente la precipitación, el rendimiento disminuye en -2.953 kg/ha; por 1 ha de cosecha anual de limón, el rendimiento disminuye en -0.618 kg/ha; por último, por un año que aumente, el rendimiento disminuye en -196.6 kg/ha. Como se puede observar, la variable climática que tiene mayor impacto según este modelo es la temperatura media.

**Coeficientes**

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	384860	118345	3.25	0.004	
año	-196.6	60.6	-3.25	0.004	1.67
cos	-0.618	0.211	-2.93	0.009	1.59
pp	-2.953	0.924	-3.20	0.005	1.07
tmed	1166	435	2.68	0.015	1.09

**Resumen del modelo**

S	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1588.33	74.02%	68.54% 37.79%

**Análisis de Varianza**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	4	136532423	34133106	13.53	0.000
año	1	26573334	26573334	10.53	0.004
cos	1	21707388	21707388	8.60	0.009
pp	1	25792935	25792935	10.22	0.005
tmed	1	18144207	18144207	7.19	0.015
Error	19	47933165	2522798		
Total	23	184465589			

Figura 126. ANOVA para el rendimiento del limón

Fuente: Elaboración propia

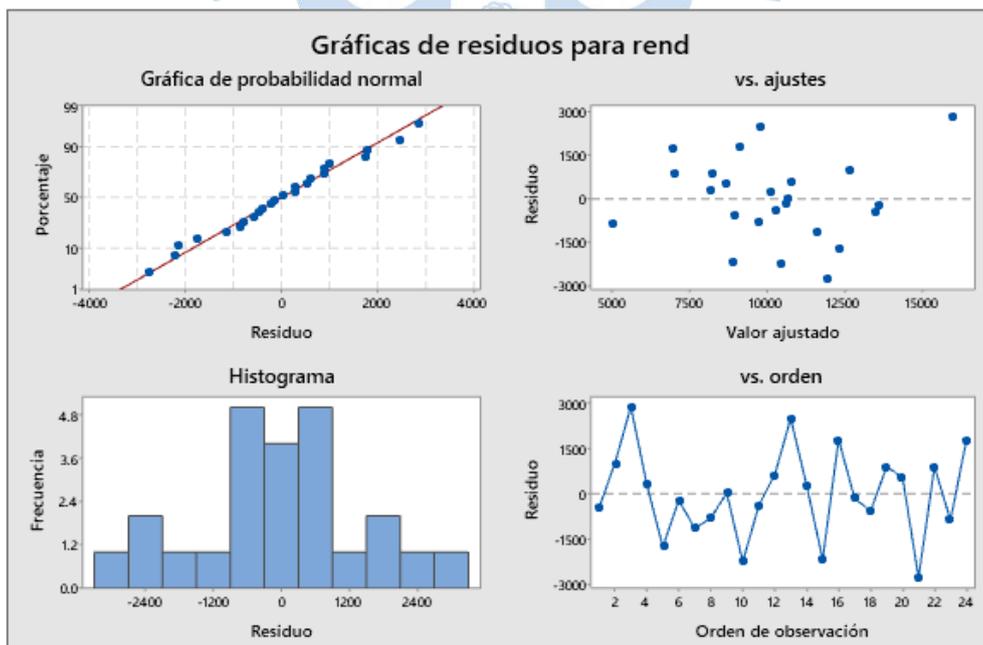


Figura 127. Gráfica de residuos

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos en las Figura 126 y Figura 127 se concluye que:

- De los coeficientes, todas las variables explicativas son significativas, ya que sus p-valor son menores a 0.05. Los valores de FIV de todas las variables independientes son buenos, ya que son menores a 5, lo cual indica que no hay autocorrelación.
- En este contexto, el estadístico  $R_{ajust}^2$  indica que el 71.27 % del rendimiento anual del limón es explicado por el modelo compuesto por cuatro variables: año, cosecha del limón, precipitación y temperatura media.
- En el análisis de varianza obtenido, se cumple que el p-valor de la regresión es menor a 0.05, por lo que podría ser un buen modelo.
- La gráfica de probabilidad normal presenta valores residuales que se encuentran alineados alrededor de la línea diagonal, correspondiente a una distribución normal, mostrando solo unos ligeros desvíos al inicio y al final.
- El histograma de los errores evidencia un comportamiento bastante regular y simétrico, alrededor del promedio (cero).
- El gráfico de residuo vs. ajustes de los valores indica que los residuales se distribuyen en proporciones más o menos iguales alrededor de la línea central, y sin mostrar algún comportamiento en particular, y se muestra que la varianza casi constante entre la zona  $\langle -3000, 3000 \rangle$ , sin embargo, se observa un valor atípico.
- En la gráfica vs. orden no se muestra algún patrón, curvatura, tendencia o estacionalidad, lo cual evidencia la independencia de los errores.

En función a los resultados anteriores, ya que todas las variables cumplen con la condición crítica de  $<0.05$  y las gráficas de residuos cumplen con los cuatro supuestos, se valida el modelo.

Con respecto al parámetro de precipitación acumulada anual, tanto del análisis exploratorio como del análisis del modelo, se concluye que el aumento de lluvia produce una disminución en el rendimiento del limón. Esto se puede deber a que afecta directamente al crecimiento del cultivo, ya que en los meses de lluvia se podía observar el inicio de plagas y enfermedades en las plantas de limón. También debido a las inundaciones, muchos obreros responsables de cultivar la tierra estaban incomunicados o se quedaban en casa para prestar ayuda a sus comunidades y/o familia, retrasando así las labores de campo. Esto a su vez afectó la cadena de suministro, impactando así en los precios.

Con respecto al parámetro de temperatura media anual, tanto del análisis exploratorio como del análisis del modelo, se concluye que el aumento de temperatura produce un aumento en el rendimiento del limón. Esto se puede deber a que las temperaturas óptimas

para el cultivo del limón comprenden entre los 23 y 30°C, y la temperatura media se encuentra dentro de ese rango.

Además, existen otras variables no climáticas que pueden tener una fuerte influencia como las tecnologías de riego, métodos de siembra, entre otros.

### ***6.1.3 Impacto de la precipitación y la temperatura en el rendimiento del arroz***

En la Figura 128 se tiene al rendimiento de la producción de arroz y a la precipitación anual acumulada. Aquí, el valor más alto en rendimiento se alcanza en el año 1997, sin embargo, es el año 1998 es el que presenta mayor precipitación acumulada y el rendimiento disminuye en 15.5% respecto a los años anteriores. En el año 1999 presenta un valor menor respecto año anterior, sin embargo, los años posteriores presentan altos valores. Luego en el año 2002 la precipitación aumenta y el rendimiento disminuye respecto a los años anteriores, igual el año 2008 y el año 2017. En este último se presenta un fenómeno El Niño con magnitud fuerte que afectó mucho a la zona, el rendimiento disminuyó en 13.8%. Se podría afirmar que, a mayor precipitación, el rendimiento disminuye, sin embargo, necesitaría de mayores estudios y quizá un periodo mayor.

Según los agricultores entrevistados (ver Apéndice 7), conviene que llueva en la sierra de Piura y la zona de Ecuador para que la represa de Poechos tenga agua suficiente para el riego, en vez de que llueva en la zona, debido a que no se tiene control de la cantidad agua que ingresará a sus cultivos. El nivel de daño ocasionado por las fuertes lluvias de Fenómeno El Niño también depende de la fase en la que se encuentre el cultivo (Ayala, Ramos, & Timaná, 2022). En el 2017 la inversión ya se había realizado y la cosecha se encontraba a un 70 %, pero debido a las lluvias todo se perdió; sin embargo, en 1998 no se mostraron tantas pérdidas económicas, debido a que la cosecha de arroz estaba en sus inicios, y los agricultores no invirtieron todo su dinero en la cosecha. La perspectiva de los agricultores es que las lluvias limpian y vuelve más fértil el suelo de sus campos, pero les da más trabajo. Después de las lluvias, crece la maleza y genera más gastos quitarlas del terreno para poder cosechar. Además, trae consigo plagas (Ayala, Ramos, & Timaná, 2022).

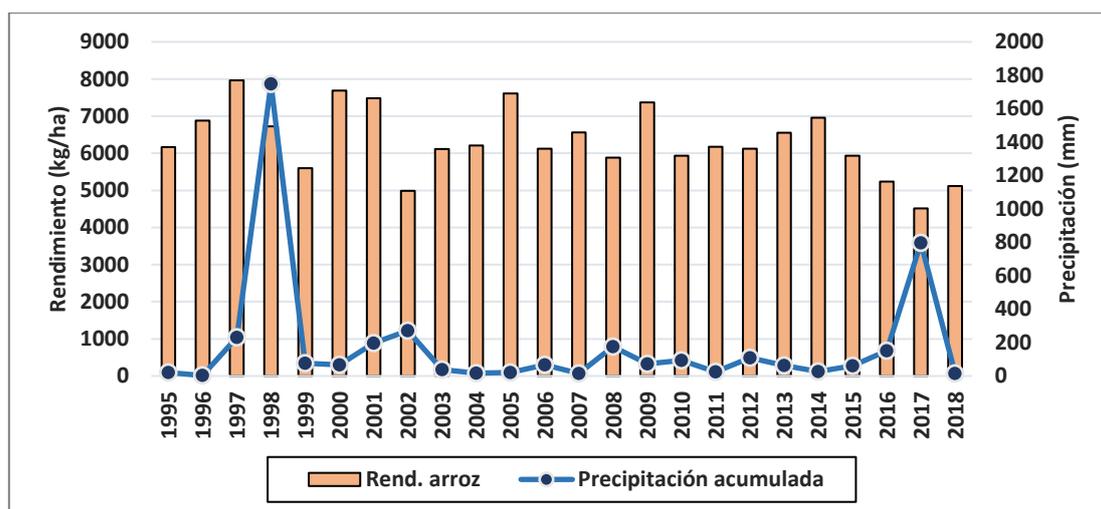


Figura 128. Análisis de la relación entre el rendimiento del arroz y la precipitación

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la temperatura del aire con el rendimiento, como se puede observar en la Figura 129, el año 1997 presenta mayor rendimiento y las temperaturas mínima y media son las más altas en el periodo de 1995-2018. Sin embargo, el año 2005 la temperatura mínima disminuye, pero el rendimiento aumenta con respecto a los años anteriores. No se puede afirmar que la temperatura del aire está relacionada directamente al rendimiento de la producción del arroz. Según los agricultores sechuranos, la temperatura ideal para la cosecha de arroz es en el verano, ya que con temperaturas bajas en arroz se “envana”, por eso lo ideal es iniciar a sembrar en los meses de diciembre a febrero. Conviene un clima templado, ni tan frío ni tan caliente. Si las temperaturas son muy altas, el cultivo se “tropicaliza”. La planta crece, pero no ayuda a que le rendimiento del fruto sea mayor (Ayala, Ramos, & Timaná, 2022).

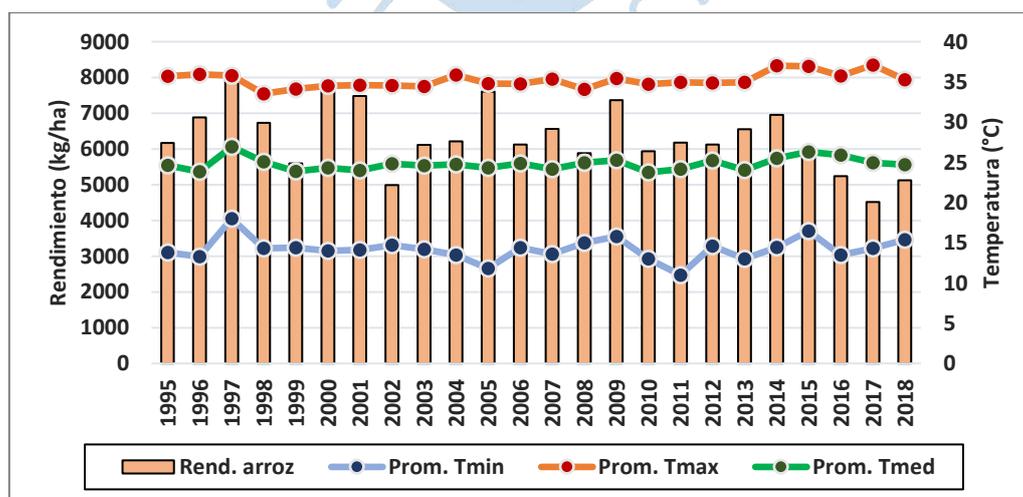


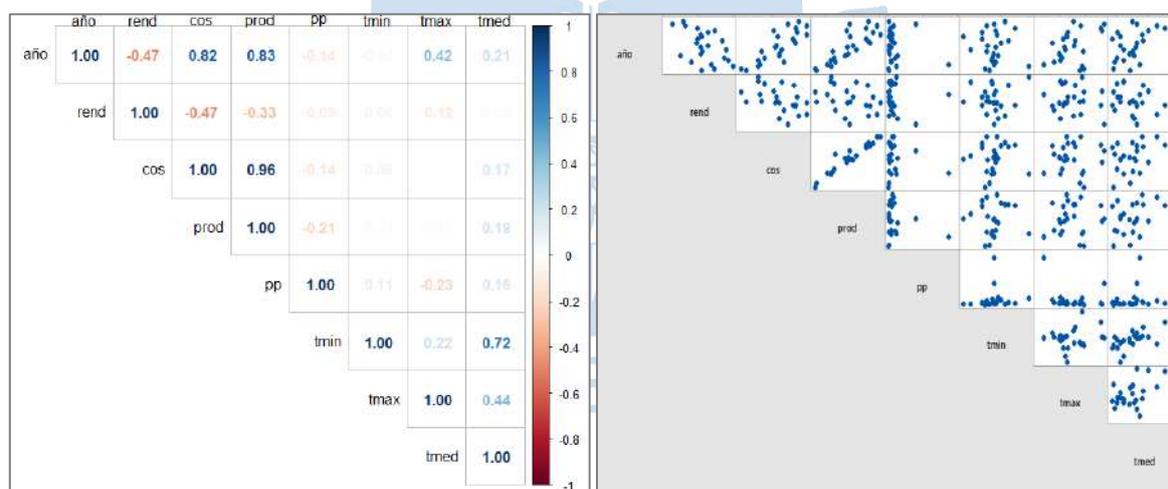
Figura 129. Análisis de la relación entre el rendimiento del arroz y temperaturas

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, es importante mencionar que según el MINAM (2014), el incremento de lluvias y temperatura del aire favorece el desarrollo del cultivo de arroz en la costa. Si se considera el fenómeno 1997-1998, se puede decir que, si favorece, ya que el fenómeno en el año 1997 se desarrolló desde el mes de julio aproximadamente, lo cual pudo favorecer al alto rendimiento de este año. Sin embargo, como se pudo ver en el gráfico, lluvias extremas no favorecen de forma positiva al rendimiento del cultivo.

La asistencia técnica también influye en la agricultura, ya que los agricultores no tienen conocimiento de qué hacer frente a plagas y otros tipos de riego.

**6.1.3.1 Correlación y patrones de comportamiento entre las variables.** Se analizaron posibles patrones de comportamiento de correlación entre las variables a través de las gráficas de matriz de correlación, como se muestra en la Figura 130. Se puede observar que el rendimiento del arroz tiene una muy baja correlación con las variables climáticas: la mayor correlación es con la temperatura máxima ( $R = -0.12$ ) y tiene una muy baja correlación con la precipitación ( $R = -0.09$ ). Esto puede dar indicios que no son buenas variables para crear un modelo que explique el comportamiento del rendimiento del arroz. Mientras tanto, el rendimiento y la cosecha tienen una correlación moderada ( $R = -0.47$ ).



**Figura 130. Comportamiento de las variables**

Fuente: Elaboración propia

**6.1.3.2 Análisis de regresión para el rendimiento del arroz.** Después de evaluar los diferentes modelos que mejor expliquen el rendimiento de la producción del arroz, se obtuvo el siguiente modelo:

$$rend_i = 81225 - 39.3 * año_i - 0.0188 * cos_i - 0.488 * pp_i + 194 * tmed_i + \varepsilon_i$$

Donde:

$rend_i$  = Rendimiento anual del arroz en el año  $i$  (kg/ha)

$año_i$  = Año de ocurrencia  $i$  (1995 – 2018)

$cos_i$  = Cosecha anual de arroz en el año  $i$  (ha)

$pp_i$  = Precipitación acumulada anual en el año  $i$  (mm)

$tmed_i$  = Temperatura media del aire en el año  $i$  (°C)

Por 1 °C que aumente la temperatura media del aire, el rendimiento aumenta en 194 kg/ha; por 1 mm que aumente la precipitación, el rendimiento disminuye en -0.488 kg/ha; por 1 ha de cosecha anual de arroz, el rendimiento disminuye en 0.0188 kg/ha; por último, por un año que aumente, el rendimiento disminuye en 39.3 kg/ha. Como se puede observar, la variable climática que tiene mayor impacto según este modelo es la temperatura media.

Coeficientes					
Término	EE del		Valor T	Valor p	FIV
	Coef	coef.			
Constante	81225	83715	0.97	0.344	
año	-39.3	42.4	-0.93	0.366	3.04
cos	-0.0188	0.0224	-0.84	0.412	2.99
pp	-0.488	0.477	-1.02	0.320	1.06
tmed	194	226	0.86	0.401	1.09

Resumen del modelo			
S	R-cuad.		R-cuad. (pred)
	R-cuad. (ajustado)		
824.971	30.14%	15.43%	0.00%

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	4	5578832	1394708	2.05	0.128
año	1	583447	583447	0.86	0.366
cos	1	479091	479091	0.70	0.412
pp	1	710302	710302	1.04	0.320
tmed	1	502727	502727	0.74	0.401
Error	19	12930959	680577		
Total	23	18509791			

Figura 131. ANOVA para el rendimiento del arroz

Fuente: Elaboración propia

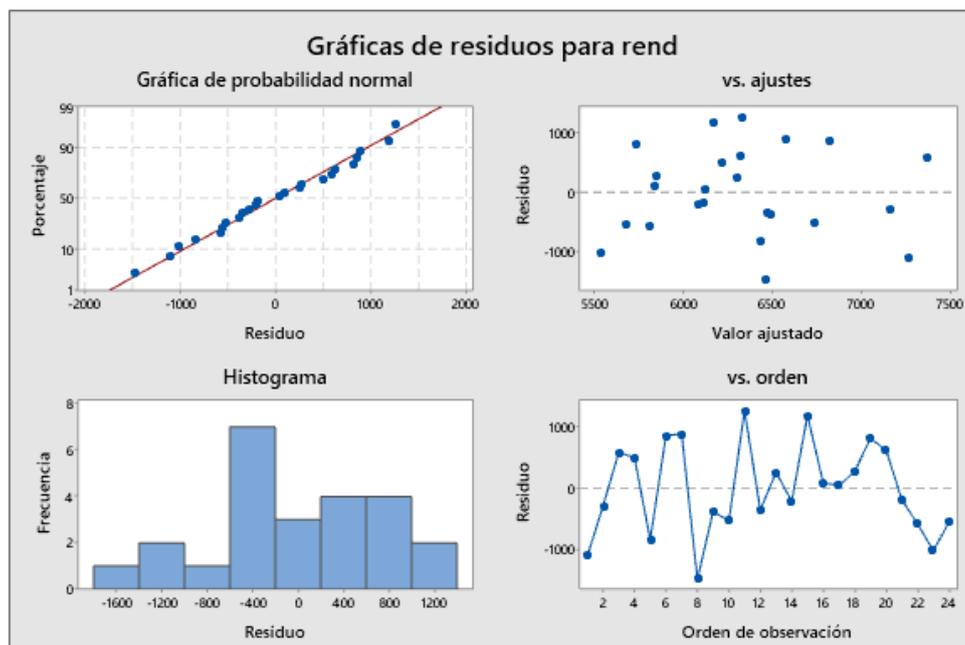


Figura 132. Gráfica de residuos

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos en la Figura 131 y Figura 132, se concluye que:

- De los coeficientes, ninguna de las variables explicativas es significativa, ya que sus p-valor son mayores a 0.05. Los valores de FIV de todas las variables independientes son buenos, ya que son menores a 5, lo cual indica que no hay autocorrelación.
- En este contexto, el estadístico  $R_{ajust}^2$  indica que el 15.43 % del rendimiento anual del arroz es explicado por el modelo compuesto por cuatro variables: año, cosecha del arroz, precipitación y temperatura media, un valor muy bajo.
- En el análisis de varianza obtenido, se observa que el p-valor de la regresión es mayor a 0.05, por lo que no es un buen modelo.
- La gráfica de probabilidad normal presenta valores residuales que se encuentran muy cercanos de la línea diagonal, correspondiente a una distribución normal.
- El histograma de los errores evidencia un comportamiento irregular y no simétrico, alrededor del promedio (cero).
- El gráfico de residuo vs. ajustes recomienda trabajar entre la zona aceptable de valores de residuos estandarizados  $\langle -1000, 1000 \rangle$ , pero existen muchos puntos que sobrepasan dicho rango. No se muestra algún comportamiento en particular, su varianza es casi constante entre la zona, ya que los valores residuales se distribuyen en proporciones más o menos iguales alrededor de la línea central.

- En la gráfica vs. orden no se muestra algún patrón, curvatura, tendencia o estacionalidad, lo cual evidencia la independencia de los errores.

En función a los resultados anteriores, en el análisis de varianza del modelo escogido se puede notar que los p-valor de las variables explicativas no cumplen con la condición crítica de  $<0.05$  y en la gráfica de residuos no cumple con los cuatro supuestos, por lo que se rechaza este modelo.

Con respecto al parámetro de precipitación acumulada anual, en el análisis exploratorio se observó que niveles altos de lluvia impactan negativamente en el rendimiento anual del arroz, y en el modelo de regresión también se visualiza este impacto en baja proporción, aunque el modelo es rechazado, por lo cual no se puede obtener una conclusión de su influencia en el rendimiento anual del algodón.

Con respecto al parámetro de temperatura media anual, del análisis exploratorio y del análisis del modelo no es muy claro obtener una conclusión con respecto al rendimiento anual del arroz, ya que en el análisis exploratorio no se ve un comportamiento definido entre ambas variables, lo cual se puede deber a que las temperaturas óptimas para el cultivo del arroz comprenden entre los 25 y 30°C, y los valores de temperatura media anual se encuentran muy cercanos a ese rango. Por otro lado, debido a que el modelo de regresión fue rechazado, no se puede afirmar que ante un aumento de la temperatura media del aire, aumenta el rendimiento del cultivo.

Además, existen otras variables no climáticas que pueden tener una fuerte influencia como las tecnologías de riego, métodos de siembra, entre otros.

#### **6.1.4 Impacto de la precipitación y temperatura en el rendimiento del algodón**

En la Figura 133 se analiza el rendimiento del algodón frente a la precipitación acumulada. No se ve un patrón claro, ya que los 1997-1998, cuando la precipitación aumenta, el rendimiento disminuye. Así también, para los años 2016-2017, cuando la precipitación aumenta, el rendimiento aumenta. Según los agricultores de Sechura, el algodón es muy sensible al agua. Cuando hay abundancia de esta, el algodón se “envicia” y no “carga”; es decir, la planta crece muy grande y se enverdece; pero baja su rendimiento (Ayala, Ramos, & Timaná, 2022).

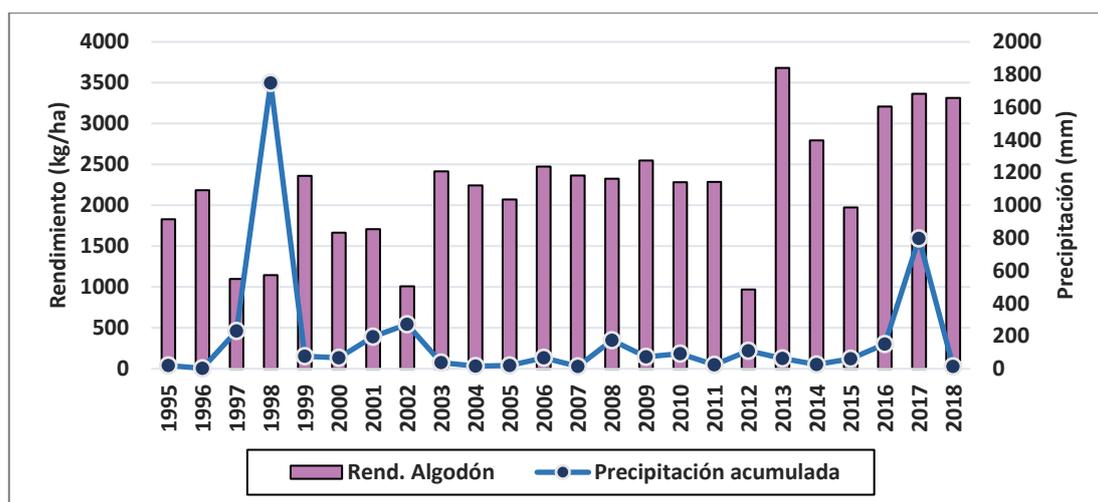


Figura 133. Análisis de la relación entre el rendimiento del algodón y la precipitación

Fuente: Elaboración propia

Para evaluar el rendimiento frente a la temperatura del aire, se realizó en la Figura 134, donde se puede notar que, a mayor temperatura mínima, menor es el valor del rendimiento, tal y como se muestra en el año 1997, 2012 y 2016. Así también, cuando la temperatura mínima y máxima disminuyen, el rendimiento aumenta con respecto a los años anteriores. Se podría decir que el rendimiento del algodón si es afectado por la temperatura del aire, sin embargo, esto se evaluará a detalle más adelante.

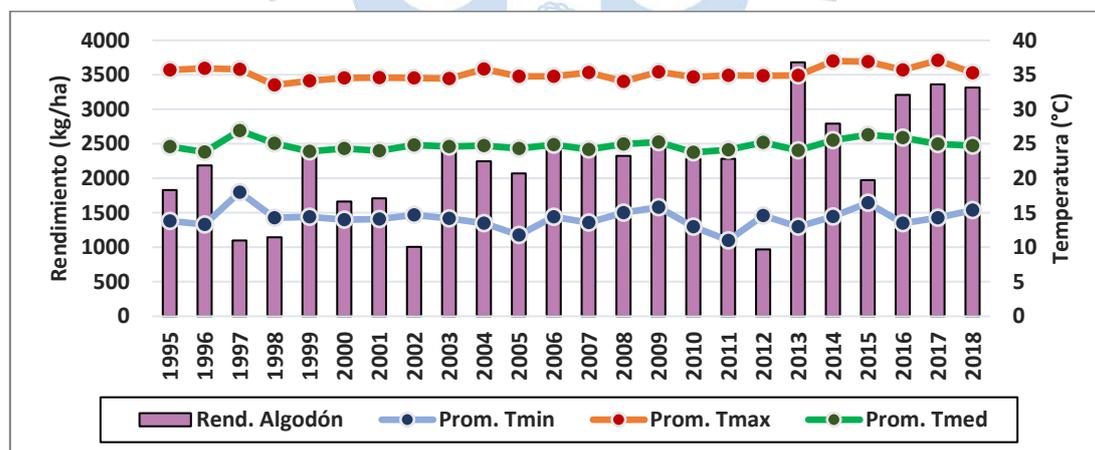


Figura 134. Análisis de la relación entre el rendimiento del algodón y temperaturas

Fuente: Elaboración propia

**6.1.4.1 Correlación y patrones de comportamiento entre las variables.** Se analizaron posibles patrones de comportamiento de correlación entre las variables a través de las gráficas de matriz de correlación, como se muestra en la Figura 135. Se puede observar que el

rendimiento del algodón tiene una baja correlación con las variables climáticas: la mayor correlación es con la temperatura máxima ( $R = 0.35$ ) y tiene una baja correlación con la precipitación ( $R = -0.24$ ). Mientras tanto, el rendimiento y la cosecha también presentan una baja correlación ( $R = -0.37$ ).

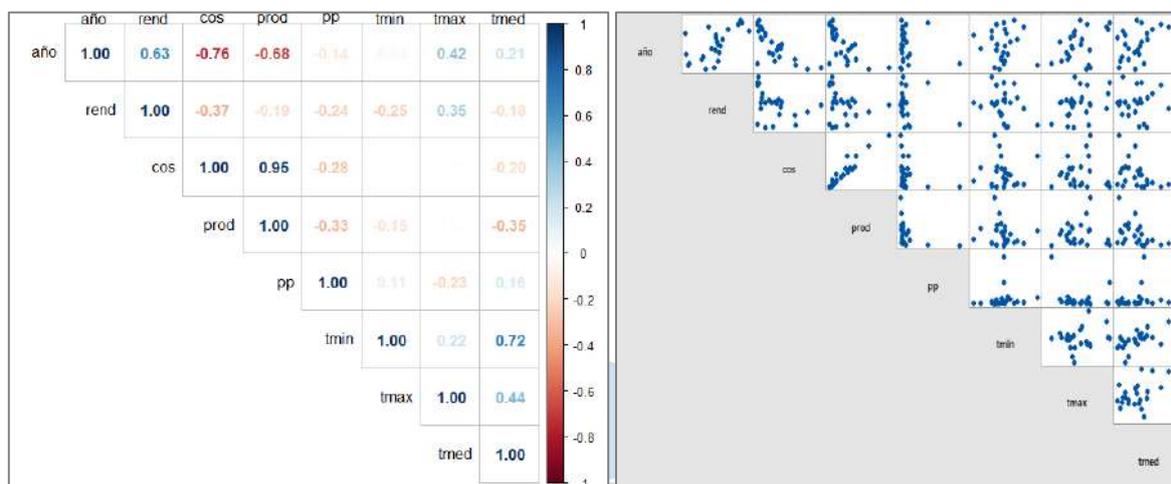


Figura 135. Comportamiento de las variables

Fuente: Elaboración propia

**6.1.4.2 Análisis de regresión para el rendimiento del algodón.** Se buscó el mejor modelo de regresión que explicara la variable rendimiento de la producción a partir de las variables climáticas. Se obtuvo la siguiente ecuación:

$$rend_i = -169954 + 89.3 * año_i + 0.0148 * cos_i - 0.017 * pp_i - 292 * tmed_i + \varepsilon_i$$

Donde:

$rend_i$  = Rendimiento anual del algodón en el año  $i$  (kg/ha)

$año_i$  = Año de ocurrencia  $i$  (1995 – 2018)

$cos_i$  = Cosecha anual de algodón en el año  $i$  (ha)

$pp_i$  = Precipitación acumulada en el año  $i$  (mm)

$tmed_i$  = Temperatura media del aire en el año  $i$  (°C)

Por 1 °C que aumente la temperatura media del aire, el rendimiento disminuye en 292 kg/ha; por 1 mm que aumente la precipitación, el rendimiento disminuye en -0.017 kg/ha; por 1 ha de cosecha anual de algodón, el rendimiento aumenta en 0.0148 kg/ha; por último, por

un año que aumente, el rendimiento aumenta en 89.3 kg/ha. Como se puede observar, la variable climática que tiene mayor impacto según este modelo es la temperatura media.

<b>Coeficientes</b>					
Término	EE del		Valor T	Valor p	FIV
	Coef	coef.			
Constante	-169954	63455	-2.68	0.015	
año	89.3	31.8	2.81	0.011	3.67
cos	0.0148	0.0211	0.70	0.494	3.80
pp	-0.017	0.410	-0.04	0.967	1.68
tmed	-292	155	-1.89	0.075	1.09

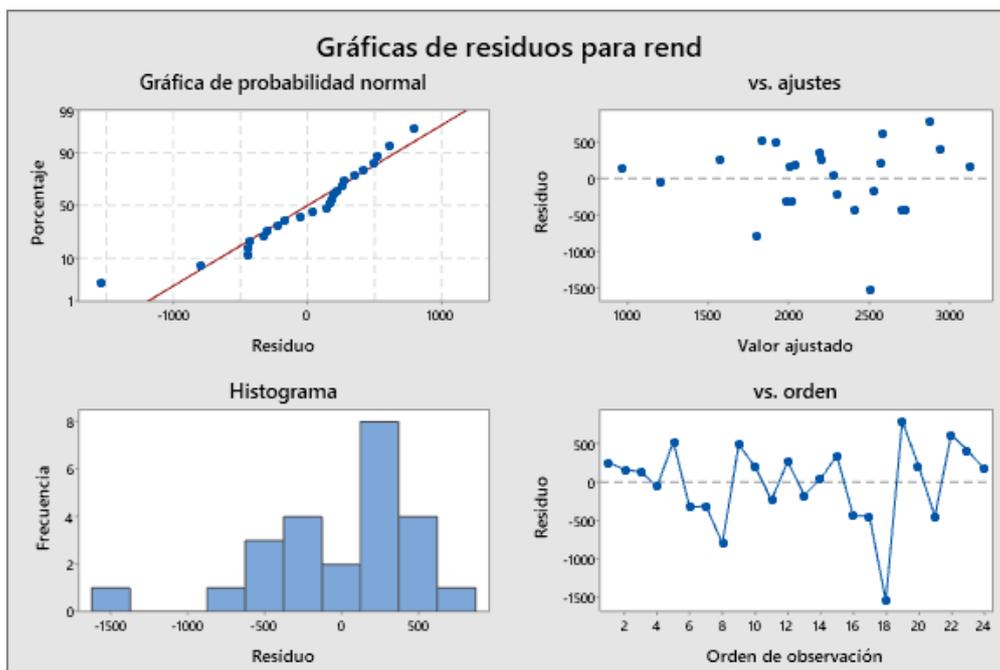
<b>Resumen del modelo</b>			
S	R-cuad.		R-cuad.
	(ajustado)	(pred)	(pred)
563.209	51.67%	41.50%	32.00%

<b>Análisis de Varianza</b>					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	4	6444106	1611026	5.08	0.006
año	1	2500411	2500411	7.88	0.011
cos	1	154609	154609	0.49	0.494
pp	1	546	546	0.00	0.967
tmed	1	1128011	1128011	3.56	0.075
Error	19	6026892	317205		
Total	23	12470998			

**Figura 136. ANOVA para el rendimiento del algodón**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 137. Gráfica de residuos**

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos en la Figura 136 y Figura 137, se concluye que:

- De los coeficientes, el año es la única variable significativa, ya que su p-valor es menor a 0.05. Los valores de FIV de todas las variables independientes son buenos, ya que son menores a 5, lo cual indica que no hay autocorrelación.
- En este contexto, el estadístico  $R_{ajust}^2$  indica que el 41.50 % del rendimiento anual del algodón es explicado por el modelo compuesto por cuatro variables: año, cosecha del algodón, precipitación y temperatura media, un valor moderado.
- En el análisis de varianza obtenido, se observa que el p-valor de la regresión es menor a 0.05, por lo que podría ser un buen modelo.
- La gráfica de probabilidad normal presenta valores residuales cercanos a la diagonal principal, correspondiente a una distribución normal, mostrando solo un punto más apartado al inicio. No se puede afirmar que existe normalidad.
- El histograma de los errores evidencia un comportamiento irregular y no simétrico, alrededor del promedio (cero).
- El gráfico de residuo vs. ajustes recomienda trabajar entre la zona aceptable de valores de residuos estandarizados  $\langle -500, 500 \rangle$ , pero existen muchos puntos que sobrepasan dicho rango, llegando incluso hasta -1500. No se muestra algún comportamiento en particular.

- En la gráfica vs. orden no se muestra algún patrón, curvatura, tendencia o estacionalidad, lo cual evidencia la independencia de los errores.

En función a los resultados anteriores, los p-valor de casi todas las variables aún no cumplen con la condición crítica de  $<0.05$  y en la gráfica de residuos no cumple con los cuatro supuestos, por lo que se rechaza este modelo.

Con respecto al parámetro de precipitación acumulada anual, del análisis exploratorio y del análisis del modelo no se puede obtener una conclusión de su influencia en el rendimiento anual del algodón, ya que en el análisis exploratorio no se observa un comportamiento definido que denote el impacto; y del análisis del modelo no se puede afirmar que, ante un aumento de la precipitación, el rendimiento disminuye debido a que este modelo de regresión ha sido rechazado.

Con respecto al parámetro de temperatura media anual, del análisis exploratorio y del análisis del modelo no se puede obtener una conclusión de su influencia en el rendimiento anual del algodón. Esto se puede deber a que las temperaturas óptimas para el cultivo del algodón comprenden entre los 20 y 30°C, y la temperatura media se encuentra dentro de ese rango. Por otro lado, debido a que el modelo de regresión se rechaza, no se puede afirmar que ante un aumento de la temperatura media del aire disminuye el rendimiento del cultivo.

Además, existen otras variables no climáticas que pueden tener una fuerte influencia como las tecnologías de riego, métodos de siembra, entre otros.

## **6.2 Impacto de la variabilidad climática en en el sector pesquero**

Con los datos de precipitación acumulada y temperaturas del aire anuales obtenidos en el Capítulo 4, se procedió a confrontarlos con los datos de los informes de la Actividad Económica del Banco Central de Reserva del Perú – sucursal Piura (<https://www.bcrp.gob.pe/estadisticas/informacion-regional/piura/piura.html>) durante el periodo 1999-2018, en el departamento de Piura.

Para el análisis de regresión, la variable dependiente será desembarque de recursos marítimos para Consumo Humano Directo y las variables independientes serán el año, precipitación, temperatura del aire, TSM y anomalía de la TSM anual. Se evaluarán diferentes modelos utilizando la función *Mejores subconjuntos* del software Minitab 19, hasta determinar el modelo que mejor se ajuste.

### **6.2.1 Impacto de la precipitación, la temperatura y la anomalía en el desembarque pesquero directo**

En la Figura 138 se representa el comportamiento del desembarque pesquero para consumo directo y la variabilidad interanual de la precipitación acumulada durante el periodo

de 1999-2017. En los años 2002 y 2016 se presentaron las mayores pérdidas, del 44.3% y 43.5% respectivamente, en comparación a sus años anteriores, y ambos años presentaron una precipitación acumulada anual mayor a 150 mm. Sin embargo, durante el FEN del 2017, se observa que el desembarque presentó un ligero aumento de 6.5% con respecto al año anterior. El panorama general muestra que el mayor desembarque se dio en el año 2008 y durante el periodo del 2011 al 2014.

La pesca puede verse afectada negativamente por las intensas lluvias debido a otros factores como el cierre de los puertos con mayor frecuencia, el aumento del riesgo en las travesías, afectación de las infraestructuras de desembarque, interrupción del abastecimiento de agua y de hielo, y la destrucción de las vías de transporte. Aunque la pesca y agricultura son gravemente impactadas por El Niño, estos también traen oportunidades ya que han llegado a formarse lagunas para pesca como La Niña en Ñapique.

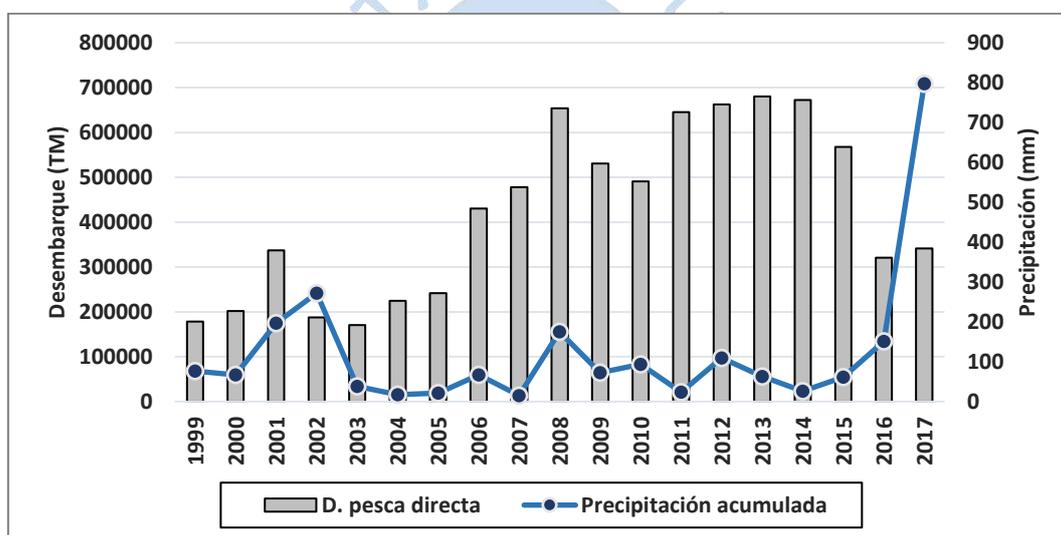
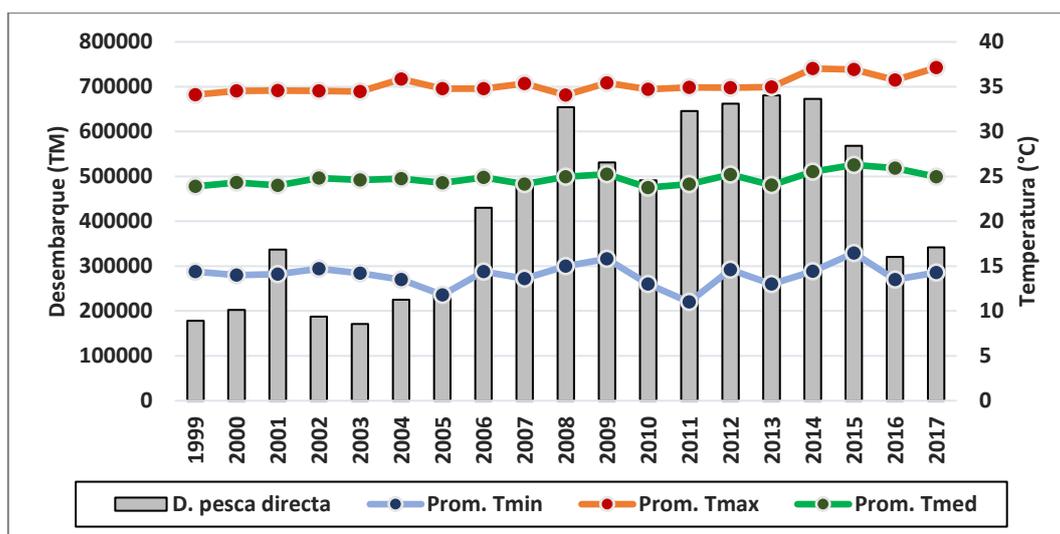


Figura 138. Análisis de la relación entre el desembarque pesquero y precipitación

Fuente: Elaboración propia

En el caso del comportamiento del desembarque pesquero para consumo directo y la variabilidad interanual de las temperaturas del aire, se observa que valores muy altos de temperatura máxima afectan negativamente el desembarque, como se puede ver principalmente durante el periodo del 2014 al 2017 (ver Figura 139). Las temperaturas presentan ligeras tendencias positivas, al igual que el del desembarque pesquero.



**Figura 139. Análisis de la relación entre el desembarque pesquero y temperaturas**

Fuente: Elaboración propia

Por último, se evaluó el comportamiento del desembarque de pesca directa frente a la variabilidad interanual de temperatura superficial del mar y la anomalía, respectivamente. En las Figura 140 y Figura 141 se observa que el movimiento de la TSM y la anomalía es similar, debido a que una deriva de la otra.

Las aguas frías de la Corriente de Humboldt poseen mayores nutrientes, lo que permite que mayores cardumes se encuentren en las zonas marinas. En condiciones del FEN, como el de 1997-1998, se modifican las condiciones del mar, ocasionando un cambio de la concentración de las principales especies comerciales, debido a que migran hacia ambientes más propicios, como fue el caso de la anchoveta, sardina, jurel, merluza y caballa, cada especie con ligeras variaciones (Galarza & Kámiche, 2012).

Durante el primer semestre del 2017, la pesca registró un crecimiento a nivel nacional según el INEI; sin embargo, con la llegada del Fenómeno del Niño, el calentamiento del mar frenó lo que pudo haber sido un crecimiento más elevado.

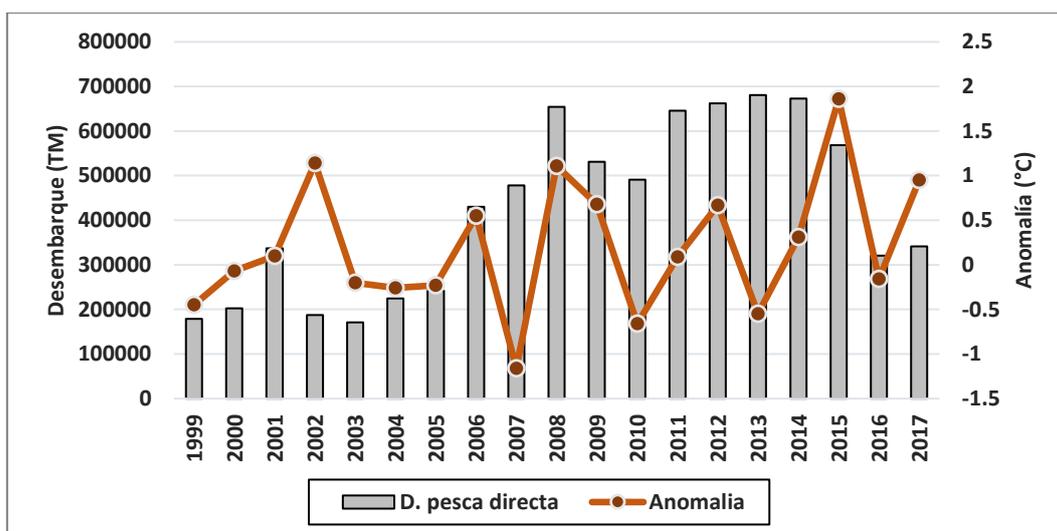


Figura 140. Análisis de la relación entre el desembarque pesquero y la anomalía

Fuente: Elaboración propia.

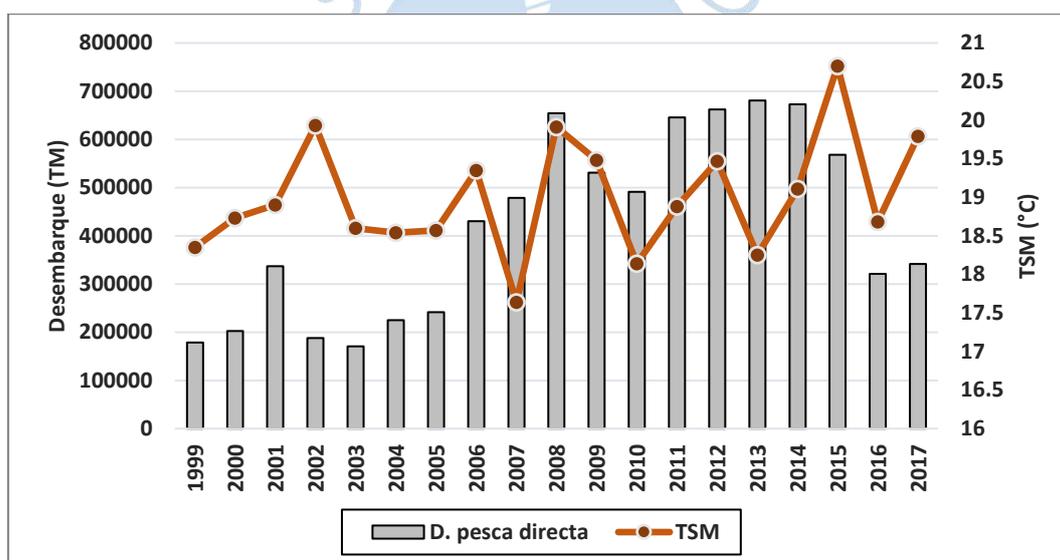


Figura 141. Análisis de la relación entre el desembarque pesquero y la TSM

Fuente: Elaboración propia.

**6.2.1.1 Correlación y patrones de comportamiento entre las variables.** Se analizaron posibles patrones de comportamiento de correlación entre las variables a través de las gráficas de matriz de correlación, como se muestra en la Figura 142. La anomalía y la TSM tenían una correlación perfecta entre sí, y por eso, estas dos variables explicativas no podían estar en un mismo modelo. Al analizar la variable desembarque de pesca directa, se observa que tiene baja correlación con las variables climáticas: la mayor correlación es con la temperatura máxima ( $R = 0.24$ ) y tiene una muy baja correlación con la precipitación ( $R = -0.15$ ). A pesar de que las correlaciones son bajas con respecto a la variable explicada

desembarque de pesca, esto no quiere decir que no influyan. Más adelante se definirá que variable se utilizó en el modelo.

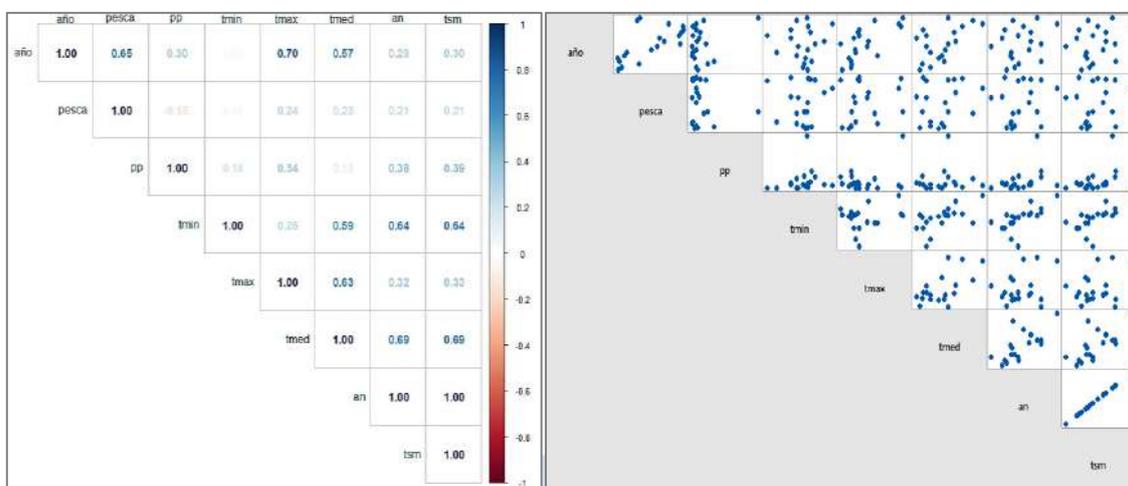


Figura 142. Comportamiento de las variables

Fuente: Elaboración propia.

**6.2.1.2 Análisis de regresión para el desembarque pesquero directo.** Se evaluaron diferentes modelos para determinar cuáles son las variables explicativas que mejor explican el impacto de la variabilidad climática en la variable explicada desembarque de la pesca directa. Se realizó una transformación Box-Cox  $\lambda = 0.5$  en Minitab para mejorar la significancia de las variables en el modelo. Los resultados que se obtuvieron fueron:

$$pesca_i^{0.5} = -55326 + 29.95 * año_i - 0.531 * pp_i - 167.8 * tmed_i + 135.5 * an_i + \varepsilon_i$$

Donde:

$pesca_i$  = Desembarque de pesca directa em el año  $i$  (TM)

$año_i$  = Año de ocurrencia  $i$  (1999 – 2018)

$pp_i$  = Precipitación acumulada en el año  $i$  (mm)

$an_i$  = Anomalía de la temperatura superficial del mar en el año  $i$  (°C)

$tmed_i$  = Temperatura media del aire en el año  $i$  (°C)

**Coefficientes para respuesta transformada**

Término	Coef	EE del		
		coef.	Valor T	Valor p
Constante	-55326	8483	-6.52	0.000
año	29.95	4.56	6.57	0.000 1.80
pp	-0.531	0.130	-4.07	0.001 1.46
tmed	-167.8	48.3	-3.47	0.004 3.13
an	135.5	41.3	3.28	0.005 2.58

**Resumen del modelo para respuesta transformada**

R-cuad.		R-cuad.	
S R-cuad. (ajustado)		(pred)	
81.0782	77.96%	71.66%	53.32%

**Análisis de varianza para respuesta transformada**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	4	325490	81373	12.38	0.000
año	1	283551	283551	43.13	0.000
pp	1	108801	108801	16.55	0.001
tmed	1	79371	79371	12.07	0.004
an	1	70832	70832	10.78	0.005
Error	14	92031	6574		
Total	18	417522			

Figura 143. ANOVA para el desembarque pesquero directo

Fuente: Elaboración propia.

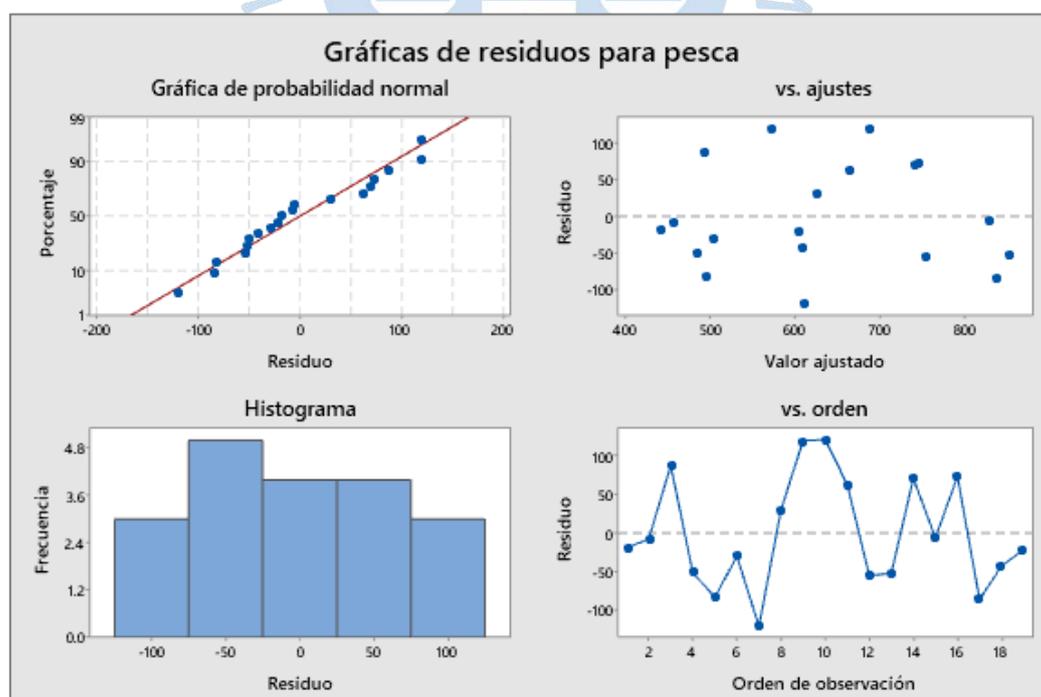


Figura 144. Gráfica de residuos

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos en las Figura 143 y Figura 144, se concluye que:

- De los coeficientes, todas las variables explicativas son significativas, ya que sus p-valor son menores a 0.05. Los valores de FIV de todas las variables independientes son buenos, ya que son menores a 5, lo cual indica que no hay autocorrelación.
- En este contexto, el estadístico  $R_{ajust}^2$  indica que el 71.68 % del desembarque de pesca anual es explicado por el modelo compuesto por cuatro variables: año, precipitación, anomalía y temperatura media, un valor alto.
- En el análisis de varianza obtenido, se observa que el p-valor de la regresión es menor a 0.05, por lo que podría ser un buen modelo.
- Se muestran mejoras importantes en las gráficas de residuos luego de aplicar la transformación en comparación al de los datos originales, tanto en la normalidad como en la varianza de la variable transformada.
- En la gráfica de probabilidad normal se evidencia valores residuales bastante cercanos a la diagonal principal, correspondiente a una distribución normal.
- El histograma de los errores evidencia un comportamiento irregular y no simétrico, alrededor del promedio (cero).
- El gráfico de residuo vs. ajustes recomienda trabajar entre la zona aceptable de valores de residuos estandarizados  $\langle -100, 100 \rangle$ , pero existen algunos puntos que sobrepasan dicho rango. No se muestra algún comportamiento en particular.
- En la gráfica vs. orden no se muestra algún patrón, curvatura, tendencia o estacionalidad, lo cual evidencia la independencia de los errores.

En función a los resultados anteriores, ya que todas las variables cumplen con la condición crítica de  $\langle 0.05 \rangle$  y las gráficas de residuos cumplen con los cuatro supuestos, se valida el modelo.

## Conclusiones

A lo largo de los años, la definición de fenómeno de El Niño ha ido cambiando, esto debido a que tiene diferentes comportamientos según su zona de acción en el Océano Pacífico. Además, su intensidad ha ido cambiando. Así también, existen diferentes formas de medir su magnitud, en base a parámetros climáticos y los daños ocasionados en el Perú y el mundo. Es así como, surgen tipos como el Niño Costero, el Niño Modoki, entre otros. Queda claro que cuando ocurre un evento el Niño en el mundo, no afecta de igual forma al Perú.

Gracias a crónicas escritas por los pobladores e historiadores se ha podido reconstruir posibles eventos El Niño ocurridos en el Perú. Si bien no son precisas, permite tener una noción de lo que pasó en aquellos años, ya que narran eventos como inundaciones, destrucciones de edificaciones y pueblos, entre otros. Así como en la recolección de investigaciones de evidencias de FEN en la prehistoria, en donde se narra la existencia de evidencia arqueológica, se muestra que un evento de magnitud extrema puede llegar a destruir una civilización.

Para tener un panorama más general del comportamiento del Fenómeno El Niño a lo largo de los siglos, se ha recurrido a los registros naturales, mediante los cuales se pueden realizar reconstrucciones más largas y completas que las obtenidas mediante registros históricos e instrumentales. Esto es de vital importancia, ya que permite analizar cómo otros factores, como el cambio climático u erupciones volcánicas, han venido afectando el desarrollo de los fenómenos; esto con la finalidad de obtener mejores modelos predictivos de eventos futuros.

Mediante el estudio sedimentológico y geomorfológico de la secuencia de cordones litorales en la costa norte del Perú se ha podido obtener información que ayude a la reconstrucción de ocurrencia de Niños muy fuertes o de super-ENOS que llevaron a su formación en la segunda mitad del Holoceno, con una resolución de siglos. Las bandas de los corales del Océano Pacífico Tropical presentan una diferencia de color según la temperatura del mar debido a la carga de nutrientes, y es mediante los isótopos de oxígeno de los corales fósiles que se puede obtener información con relación a eventos ENOS del último milenio, con una resolución estacional. A través de la anchura de los anillos de árboles se obtiene información para determinar la relación crecimiento radial y parámetros de FEN, como lluvias

anuales de la zona y el Índice de Oscilación del Sur, con una resolución estacional; y en el caso de la región Piura, las especies que han demostrado potencial para la dendrocronología han sido el Hualtaco, el Palo Santo, el Pasayo y Algarrobo.

Los registros Instrumentales permiten tener diferentes índices, factores, parámetros que permiten categorizar la ocurrencia de eventos Niño y analizar su comportamiento. Se puede notar que no solo depende de la TSM para afirmar la existencia de un evento, sino también la lluvia, anomalías de la TSM e incluso la temperatura del aire. Sin embargo, hace falta mayores estudios para poder predecir un evento como tal, ya que está influenciado por los cambios climáticos constantes.

Al analizar las anomalías de los parámetros climáticos, se puede deducir que, para la temperatura del aire, en el año 1997 es donde se muestran valores por encima de lo normal, con una diferencia de 2.5°C aproximadamente. Para la precipitación acumulada las mayores anomalías se dan en los años FEN; según los índices del SENAMHI, corresponde a años con superávit. En el caso de la TSM, las anomalías pueden superar los 5°C, siendo su mayor valor alcanzado en 1983, con + 10.5°C, lo cual es 15 veces más la desviación estándar de un año neutro, según el rango ICEN.

Los datos de las estaciones que miden parámetros climáticos permiten una reconstrucción más precisa de eventos el Niño. Sin embargo, suelen haber datos incompletos, debido a diversos factores, lo cual hace necesario la estimación de datos. Para ello, se usan métodos estadísticos, pero no se puede tratar como cualquier variable, ya que el clima ha ido cambiando a lo largo del tiempo y no es posible predecir o estimar usando la misma serie de datos.

Sechura es una provincia que se dedicada principalmente a la agricultura y a la pesca, sin embargo, lo hacen de forma individual. El riego es gestionado por la Junta de Regantes, pero la inversión para las siembras y cosechas lo asumen cada agricultor. Por ello, ante un desastre como el Fenómeno el Niño ocurrido en los años 1983, 1998 y 2017, y sumado a la falta de tecnología y capacitación de qué hacer frente a un fenómeno de tal magnitud, pierden su inversión, trayendo consigo problemas económicos para la población.

El clima no es el único factor que influye en el rendimiento agrícola, existen otros factores como la economía, la fase en la que se encuentra la cosecha, la tecnología utilizada para el riego, capacitación para control de plagas, entre otros factores externos. Por ejemplo, para el caso de la caída del rendimiento del algodón, según los pobladores, influyó de gran forma la decadencia de uno de sus principales compradores, la caída del precio del mercado.

La pesca es una de las principales actividades productivas de Sechura que es vulnerable a las alteraciones climáticas como el FEN, ya que afecta el funcionamiento de los ecosistemas marinos, el cual es el medio de subsistencia de estas comunidades. Si bien también ocurre que

nuevas especies migran a la zona, se debe desarrollar un plan de acción que asegure la sostenibilidad de los recursos y del sector frente a estos eventos frecuentes en el Perú.

En análisis del impacto realizado muestra que, el cultivo más afectado es el limón por variables como la temperatura media y la lluvia. En años Niño el rendimiento de la producción llega a disminuir un 55% aproximadamente, además, el modelo de regresión es bueno con un  $R_{ajust}^2$  de 68.5%. En el caso del maíz, de acuerdo con el análisis de regresión y correlación, la temperatura mínima parece ser un factor que influye en el rendimiento. Para el resto de los cultivos la variación del rendimiento es baja y sus modelos de regresión confirman que el clima no es el mayor factor.

Al medir el impacto de la variabilidad climática en la pesca, se puede afirmar con un 95% de confiabilidad que la precipitación, temperatura media y anomalía de la TSM influyen en el desembarque de pesca directa. El modelo de regresión obtuvo un  $R_{ajust}^2$  71.68% y la correlación con dichos parámetros es bastante alta.

De los resultados obtenidos de las cinco estaciones meteorológicas se puede apreciar que el valor promedio de la precipitación acumulada mensual es menor a 70 mm. Durante un evento Niño, la precipitación acumulada mensual es de entre 8 a 12 veces más que en un año normal. Además, no todos los eventos Niño siguen el mismo régimen pluviométrico. Del análisis del comportamiento de las lluvias en los años hidrológicos 1982/83, 1997/98, 2016/17, fechas en las que sucedieron los más fuertes eventos El Niño de los últimos años, las máximas precipitaciones mensuales de los años 1982/83 se registraron en la Estación Miraflores durante el mes de abril (732.5 mm), de los años 1997/98 se registraron en la misma estación durante el mes de enero (768.7 mm), y de los años 2016/17 se registraron en la Estación Chusis durante el mes de marzo (610.3 mm).

Durante el periodo de 1991 al 2019, las precipitaciones acumuladas mostraron en su mayoría ligeras tendencias negativas, siendo la más acentuada la de la Estación UDEP con una variación anual de -0.3 mm. Las temperaturas máximas y medias mostraron en su gran mayoría tendencias ligeras positivas, siendo la mayor variación anual de 0.08 °C y 0.04 °C, respectivamente, ambas en la Estación San Miguel. Por último, las temperaturas mínimas presentaron en su gran mayoría tendencias ligeras negativas, siendo la más acentuada la de la Estación UDEP con una variación anual de -0.07 °C.

Al evaluar los 3 tipos de registros, se obtuvieron un total 107 años Niño en registros históricos, 100 en registros naturales y 8 en registros instrumentales, cada uno con sus respectivos periodos de estudio. Durante el periodo de 1525-1979, la frecuencia de eventos Niño de los 3 primeros siglos fue muy similar, sin embargo, el siglo XIX fue muy distinto, debido a que la frecuencia fue 3 veces más en comparación a los siglos anteriores. En general la coincidencia entre eventos Niño fue muy baja con un error de  $\pm 1$  año. Por otro lado, tomando el periodo de 1972-1992 hubo mayor coincidencia de eventos Niño entre registros históricos e instrumentales.



## Referencias bibliográficas

- Agraria.pe. (23 de Marzo de 2012). *Precio Promedio del algodón caería en el 2012*. Obtenido de <https://agraria.pe/noticias/precio-promedio-del-algodon-caeria-en-el-2012-2792>
- ANA. (Julio de 2020). *Perú perdió el 51% de sus glaciares debido al cambio climático*. Obtenido de <http://www.ana.gob.pe/noticia/peru-perdio-el-51-de-sus-glaciares-debido-al-cambio-climatico>
- Ancajima, A. (2017). *Dendrocronología de Prosopis sp. en la región Piura*. Obtenido de <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1046>
- ANDINA. (17 de Octubre de 2011). *ANDINA*. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-piura-registro-temperatura-11-grados-mas-baja-los-ultimos-15-anos-382499.aspx>
- ANDINA. (17 de Setiembre de 2015). *INIA: maíz amarillo duro y frijol son cultivos alternativos ante El Niño*. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-inia-maiz-amarillo-duro-y-frijol-son-cultivos-alternativos-ante-nino-575616.aspx>
- ANDINA. (5 de Julio de 2017). *Andina-Minagri: exportaciones de limón crecieron 3,218 % entre 2002 y 2016*. Obtenido de <https://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/andina-minagri-exportaciones-de-limon-crecieron-3218-entre-2002-y-2016/>
- ANDINA. (4 de Julio de 2017). *Minagri: exportaciones de limón crecieron 3,218 % entre 2002 y 2016*. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-minagri-exportaciones-limon-crecieron-3218-entre-2002-y-2016-673558.aspx>
- ANDINA. (25 de Setiembre de 2018). *Úcupe y Purulén darán respuesta a enigmas sobre origen de civilización en el norte*. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-ucupe-y-purulen-daran-respuesta-a-enigmas-sobre-origen-civilizacion-el-norte-726337.aspx>
- ANDINA. (21 de Enero de 2020). *ANDINA*. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-piura-y-lambayeque-alcanzan-records-temperatura-diurna-lo-va-enero-782235.aspx>
- Aparicio, J., Martínez, A., & Morales, J. (Enero de 2004). Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/311562518\\_Modelos\\_Lineales\\_Aplicados\\_en\\_R](https://www.researchgate.net/publication/311562518_Modelos_Lineales_Aplicados_en_R)

- Ayala, R., Ramos, I. R., & Timaná, J. (30 de Enero de 2022). Impacto del clima en la agricultura en Sechura. (R. Rodriguez, N. Palacios, & I. Zapata, Entrevistadores)
- Balcázar, F., & Lozano, C. (2019). *Determinación de la variabilidad climática y cambio climático mediante el análisis de la temperatura y la precipitación en el distrito de Contumazá durante el período 1965 – 2018*. Obtenido de <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/1296>
- Banco Wiese Sudameris. (12 de Junio de 2002). *Reporte Semanal*. Obtenido de [http://scotiabankfiles.azureedge.net/scotiabank-peru/PDFs/reportes/sectorial/20020612\\_sec\\_es\\_algodon.pdf](http://scotiabankfiles.azureedge.net/scotiabank-peru/PDFs/reportes/sectorial/20020612_sec_es_algodon.pdf)
- BBC Mundo. (19 de Enero de 2011). ¿Cómo ocurre El Niño y La Niña? Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=nDJUPk6iVRQ>.
- BCRP. (Mayo de 2008). *Informe Económico y Social Región Piura*. Obtenido de <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Proyeccion-Institucional/Encuentros-Regionales/2008/Piura/Informe-Economico-Social/IES-Piura.pdf>
- Blas, S. (2021). *Métodos de selección de variables bajo el enfoque bayesiano para el modelo lineal normal (Tesis para optar el título de Magíster en Estadística)*. Obtenido de Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima, Perú: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/17868>
- Bradley, R. (Diciembre de 2014). *Paleoclimatología: reconstruyendo climas del Cuaternario (3era edición)*. Elsevier/Academic Press. Obtenido de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/291344323\\_PALEOCLIMATOLOGY\\_3rd\\_edition](https://www.researchgate.net/publication/291344323_PALEOCLIMATOLOGY_3rd_edition)
- Brázdil, R., Pfister, C., Heinz, W., Von Storch, H., & Luterbacher, J. (Junio de 2005). *Historical climatology in Europe—the state of the art*. Obtenido de *Climatic change*, 70(3), 363-430: <https://doi.org/10.1007/s10584-005-5924-1>
- Bruckner, M. (01 de 02 de 2021). *Paleoclimatology: Climate Proxies*. Obtenido de Microbial Life. Educational Resources: <https://serc.carleton.edu/microbelife/topics/proxies/paleoclimate.html>
- Buguña, N. (Marzo de 2019). *Aplicación de modelos hidrológicos para la estimación de caudales mensuales en la sub cuenca del río Bigote. (Tesis de Máster en Ingeniería Civil con Mención en Recursos Hídricos)*. Obtenido de Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.: <https://hdl.handle.net/11042/4016>
- Cabrejos, C. (2011). *Red de Bibliotecas Virtuales de CLACSO*. (CIPCA, Ed.) Obtenido de Actualización del mapa regional del sector agrario en Piura : [http://biblioteca.clacso.edu.ar/Peru/cipca/20170224030349/pdf\\_609.pdf](http://biblioteca.clacso.edu.ar/Peru/cipca/20170224030349/pdf_609.pdf)

- Carmona, F. (2003). *Modelos lineales*. Obtenido de <https://recursos.salonesvirtuales.com/assets/bloques/modeloslineales.pdf>
- Carpio, M. (Setiembre de 1999). *Consideraciones sobre los endorreismos de la costa norte de Perú en su relación con eventos de El Niño*. Obtenido de Papeles de geografía, (30), 87-102: <https://dialnet.unirioja.es/download/Article/105608.pdf>
- CENAM. (s.f.). *Gobierno de Mexico*. Obtenido de Dirección de Metrología de Fuerza y Presión: <https://www.cenam.mx/FYP/Presion/Pre1.aspx>
- Chang, A. (3 de Octubre de 2014). *La cobertura periodística del fenómeno del Niño de 1925-1926 en el diario El Comercio de Lima (Tesis para optar el título de Magíster en Historia)*. Obtenido de Pontificia Universidad Católica del Perú: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5609>
- CITE pesquero Piura. (2019). *Variación anual de la pesca en la región Piura*. Piura.
- Climate-Data.org. (s.f.). *Clima Sechura*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/americadel-sur/peru/piura/sechura-874902/>
- Cook, E., D'Arrigo, R., & Anchukaitis, K. (Abril de 2008). *ENSO reconstructions from long tree-ring chronologies: Unifying the differences?* Obtenido de <https://www.ncei.noaa.gov/access/paleo-search/study/8704>
- Córdova, E. (2003). *Reconstrucción climática a partir del anillado de los árboles de la costa norte del Perú (Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial y de Sistemas)*. Obtenido de Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Piura, Perú.
- Corporación Andina de Fomento. (s.f.). *El Fenómeno El Niño 1997-1998 Memorias, Retos y Soluciones*. Obtenido de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/FCDB3627F438725605257E1400594DAE/\\$FILE/Las\\_lecciones\\_de\\_El\\_Ni%C3%B1o\\_Per%C3%BA.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/FCDB3627F438725605257E1400594DAE/$FILE/Las_lecciones_de_El_Ni%C3%B1o_Per%C3%BA.pdf)
- D'Arrigo, R., Cook, E., Wilson, R., Allan, R., & Mann, M. (2005). *On the variability of ENSO over the past six centuries*. Obtenido de doi:10.1029/2004GL022055
- D'Arrigo, R., Cook, E., Wilson, R., Allan, R., & Mann, M. (2005). *On the variability of ENSO over the past six centuries*. Obtenido de <https://www.ncdc.noaa.gov/paleo/study/6250>
- Del Águila, K., & Giovanni, V. (Noviembre de 2017). *Caso: El Limón y el Año. Riesgos en la cadena de suministro*. Obtenido de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3549/MDE\\_1727.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3549/MDE_1727.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- DGPA-MINAGRI. (Agosto de 2017). *Informe del Limón*. Obtenido de <https://bibliotecavirtual.midagri.gob.pe/index.php/analisis-economicos/boletines/2017/35-informe-del-limon/file>
- Diario El Comercio. (26 de Marzo de 2017). *El Fenómeno de El Niño: un viejo conocido para el Perú*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/peru/fenomeno-nino-viejo-conocido-peru-408668-noticia/>
- Diario El Comercio. (22 de Marzo de 2017). *El fin de los mochicas: ¿fue El Niño o la política?* Obtenido de <https://elcomercio.pe/luces/libros/mochicas-nino-politica-407873-noticia/>
- Diario El Comercio. (20 de Marzo de 2017). *Los moches y El Niño: así castigaba al norte el dios Aiapaec*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/luces/libros/moches-nino-castigaba-norte-dios-aiapaec-407125-noticia/>
- Diario El Regional Piura. (14 de Agosto de 2019). *Sechura, dunas, mar, lagunas, esteros y una belleza natural*. Obtenido de <https://www.elregionalpiura.com.pe/index.php/especiales/167-turismo/36205-sechura-dunas-mar-lagunas-esteros-y-una-belleza-natural>
- Diario Gestión. (Abril de 2018). *Sacrificio de niños de la cultura Chimú en Perú sería el más grande del mundo*. *Gestión*. Obtenido de <https://gestion.pe/tendencias/sacrificio-ninos-cultura-chimu-peru-seria-grande-mundo-232539-noticia/>
- Diario Gestión. (Agosto de 2019). *La historia de los 227 niños sacrificados en un ritual de la cultura Chimú*. *Gestión*. Obtenido de <https://gestion.pe/peru/la-historia-de-los-227-ninos-sacrificados-en-un-ritual-de-la-cultura-chimu-noticia/?ref=gesr>
- Diaz, A., & Ortlieb, L. (1991). *La malocofauna de secuencias de cordones litorales holocenos del Peru*. In : *Setento congreso peruano de geologia : volumen de resúmenes extendidos*. Obtenido de <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:34901>
- Dupar, M. (2020). *El Informe especial del IPCC sobre cambio climático y la tierra-¿Qué significa para América Latina?* Bolivia. Obtenido de [https://cdkn.org/wp-content/uploads/2020/04/WEB-IPCC-Land\\_Latin-America\\_Spanish\\_24March2020.pdf](https://cdkn.org/wp-content/uploads/2020/04/WEB-IPCC-Land_Latin-America_Spanish_24March2020.pdf)
- EcuRed. (2021). *Climograma*. Obtenido de [https://www.ecured.cu/Climograma#.C2.BFC.C3.B3mo\\_interpretar\\_un\\_climograma.3F](https://www.ecured.cu/Climograma#.C2.BFC.C3.B3mo_interpretar_un_climograma.3F)
- EN PERU. (s.f.). *Clima de Piura*. Obtenido de <https://www.enperu.org/piura/informacion-clima-departamento-piura-peru>
- ENFEN. (Julio de 2015). *Estudio y monitoreo de los impactos del Fenómeno El Niño en las condiciones atmosféricas a nivel nacional*. Obtenido de

- [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/8ED0243E96578F4605257EB20060DBFF/\\$FILE/02203SENA-12.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/8ED0243E96578F4605257EB20060DBFF/$FILE/02203SENA-12.pdf)
- ENFEN. (2017). *Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN*. ENFEN, Lima. Obtenido de [https://www.dhn.mil.pe/Archivos/Oceanografia/ENFEN/nota\\_tecnica/01-2017.pdf](https://www.dhn.mil.pe/Archivos/Oceanografia/ENFEN/nota_tecnica/01-2017.pdf)
- ENFEN. (2021). *Eventos El Niño y La Niña Costeros*. Obtenido de [http://met.igp.gob.pe/elnino/lista\\_eventos.html](http://met.igp.gob.pe/elnino/lista_eventos.html)
- Enríquez-Beck, J. (Febrero de 2016). *Estado Hidrológico, hidráulico y sedimentológico de los ensambles en la región de Piura*. Obtenido de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2569/ICI\\_224.pdf](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2569/ICI_224.pdf)
- Erreis, R. (2015). *Evaluación del efecto de cambio climático en los cultivos de la zona de Santa Rosa de Cusubamba, Cantón Cayambe, Provincia de Pichincha. (Tesis de maestría en Agricultura Sostenible)*. Obtenido de Repositorio ESPE: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12373/1/T-ESPE-049610.pdf>
- Faraway, J. (2015). *Modelos lineales con R* (Segunda ed.). Chapman & Hall/CRC Texts in Statistical Science.
- Farías de Reyes, M. (Agosto de 2005). *Apuntes de Hidrología*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/jhonccama/modulo-i-hidrologia-uni-piura>
- Frost, J. (2019). *Regression Analysis: An Intuitive Guide for Using and Interpreting Linear Models*. Pennsylvania.
- Fundación M. J. B. De La Fuente. (Junio de 2010). *Cambio Climático en el Perú: Costa Norte*. Obtenido de Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA): <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/cambio-climatico-peru-costa-norte>
- Galarza, E., & Kámiche, J. (Setiembre de 2012). *Impactos del Fenómeno El Niño (FEN) en la economía regional de Piura, Lambayeque y La Libertad*. Obtenido de [https://www.apeseg.org.pe/wp-content/uploads/2019/02/2012\\_Impactos-del-FEN-en-la-econom%C3%ADa-regional-de-Piura-Lambayeque-y-La-Libertad.pdf](https://www.apeseg.org.pe/wp-content/uploads/2019/02/2012_Impactos-del-FEN-en-la-econom%C3%ADa-regional-de-Piura-Lambayeque-y-La-Libertad.pdf)
- García-Herrera, R., Barriopedro, D., Hernández, E., Díaz, H. F., García, R. R., Prieto, M. R., & Moyano, R. (01 de Mayo de 2008). *Una cronología de los eventos de El Niño a partir de fuentes documentales primarias en el norte del Perú*. Obtenido de Journal of Climate, 21(9), 1948-1962: <https://doi.org/10.1175/2007jcli1830.1>
- Gentile, E. (2021). *Cómo construir y analizar climogramas*. Obtenido de Educ.ar: [https://cdn.educ.ar/dinamico/UnidadHtml\\_\\_get\\_\\_5224f21e-7a07-11e1-83ab-ed15e3c494af/index.html#:~:text=Amplitud%20t%C3%A9rmica%20anual%3A%20diferencia%20entre,m%C3%A1s%20fr%C3%ADo%20de%20un%20lugar](https://cdn.educ.ar/dinamico/UnidadHtml__get__5224f21e-7a07-11e1-83ab-ed15e3c494af/index.html#:~:text=Amplitud%20t%C3%A9rmica%20anual%3A%20diferencia%20entre,m%C3%A1s%20fr%C3%ADo%20de%20un%20lugar)

- GEOIDEP. (s.f.). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)*. Obtenido de [https://www.geoidep.gob.pe/servicio-nacional-de-meteorologia-e-hidrologia-del-peru-senamhi#:~:text=Con%20el%20%20C3%A1nimo%20de%20difundir,Organizaci%C3%B3n%20Meteorol%C3%B3gica%20Mundial%20\(OMM\).](https://www.geoidep.gob.pe/servicio-nacional-de-meteorologia-e-hidrologia-del-peru-senamhi#:~:text=Con%20el%20%20C3%A1nimo%20de%20difundir,Organizaci%C3%B3n%20Meteorol%C3%B3gica%20Mundial%20(OMM).)
- Gobierno de Navarra. (s.f.). *Meteorología y climatología de Navarra*. Obtenido de <http://meteo.navarra.es/definiciones/>
- Gobierno Regional de Piura. (Junio de 2018). *Boletín Gerencia Regional de Desarrollo Económico*. Obtenido de [https://www.regionpiura.gob.pe/documentos/grde/revista\\_grde21.pdf](https://www.regionpiura.gob.pe/documentos/grde/revista_grde21.pdf)
- Hamilton, K., & Garcia, R. R. (Noviembre de 1986). *El Niño/Southern Oscillation events and their associated midlatitude teleconnections 1531–1841*. Obtenido de Bulletin of the American Meteorological Society, 67(11), 1354–1361: [https://www.researchgate.net/publication/249615700\\_El\\_NinoSouthern\\_Oscillation\\_Events\\_and\\_Their\\_Associated\\_Midlatitude\\_Teleconnections\\_1531-1841](https://www.researchgate.net/publication/249615700_El_NinoSouthern_Oscillation_Events_and_Their_Associated_Midlatitude_Teleconnections_1531-1841)
- Hernández, E. (Julio de 2019). *Selección del mejor conjunto de regresión*. Obtenido de Universidad de La Laguna, Departamento de Matemáticas. Santa Cruz de Tenerife, España: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/15751/Seleccion%20del%20mejor%20conjunto%20de%20Regresion..pdf;jsessionid=B2059C0908A6B82EA69D3AA805EFB29F?sequence=1>
- Hocquenghem, A.-M., & Ortlieb, L. (1992). *Eventos El Niño y Lluvias anormales en la costa del Perú: Siglos XVI-XIX*. Obtenido de [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_7/b\\_fdi\\_51-52/010015057.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_51-52/010015057.pdf)
- Hocquenghem, A.-M., & Ortlieb, L. (Marzo de 1992). *Historical record of El Niño events in Peru (XVI-XVIIIth centuries): the Quinn et al.(1987) chronology revisited*. Obtenido de "Paleo-ENSO records" international symposium: extended abstracts (pp. 143-149).: [http://sinpad.indeci.gob.pe/UploadPortalSINPAD/Informacion\\_Fenomeno\\_Ni%C3%B1o/pdf/eng/doc9247/doc9247-contenido.pdf](http://sinpad.indeci.gob.pe/UploadPortalSINPAD/Informacion_Fenomeno_Ni%C3%B1o/pdf/eng/doc9247/doc9247-contenido.pdf)
- I Vallvé, M. (2006). *La climatología histórica en el contexto universitario español*. Obtenido de Pedralbes: Revista d'Història Moderna, Núm. 26, 41–63: <https://www.raco.cat/index.php/Pedralbes/article/view/122922>
- IDEAM. (2014). *Radiación Solar*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta#:~:text=La%20radiaci%C3%B3n%20solar%20es%20la,procesos%20atmosf%C3%A9ricos%20y%20el%20clima.&text=El%20Sol%20emite%20energ%C3%ADa%20en%20forma%20de%20radiaci%C3%B3n%20de%20onda%20cort>

- IGP. (Octubre de 2017). *Boletín Técnico: Física del Fenómeno El Niño "Costero"*. v. 1, n. 10. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12816/731>
- IGP. (Enero de 2018). *Boletín técnico: Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño*. v. 5, n. 1. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12816/1300>
- IGP. (Abril de 2018). *Boletín técnico: Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño*. v. 5, n. 4. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12816/3996>
- IMARPE. (2013). *Definición de "El Niño Costero"*. Obtenido de [http://www.imarpe.pe/imarpe/index2.php?id\\_seccion=I017504020000000000000000](http://www.imarpe.pe/imarpe/index2.php?id_seccion=I017504020000000000000000)
- IMARPE. (2013). *Series de tiempo de estaciones costeras*. Obtenido de [http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index2.php?id\\_seccion=I017807020000000000000000](http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index2.php?id_seccion=I017807020000000000000000)
- IMARPE. (2020). *Índice Costero El Niño (ICEN)*. Obtenido de [http://www.imarpe.pe/imarpe/index.php?id\\_seccion=I017809030000000000000000](http://www.imarpe.pe/imarpe/index.php?id_seccion=I017809030000000000000000)
- INEI. (2017). *Cinco departamentos concentran más de la mitad de la población del país*. Obtenido de <http://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/cinco-departamentos-concentran-mas-de-la-mitad-de-la-poblacion-del-pais-10843/>
- INEI. (Octubre de 2017). *Piura Compendio Estadístico 2017*. Obtenido de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitaes/Est/Lib1505/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaes/Est/Lib1505/libro.pdf)
- INEI. (Octubre de 2018). *Resultados Definitivos del departamento de Piura*. Obtenido de Tomo I: Aspectos generales, análisis de los principales resultados y cuadros estadísticos de población: [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitaes/Est/Lib1553/20TOMO\\_01.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaes/Est/Lib1553/20TOMO_01.pdf)
- Ingram, M., Underhill, D., & Wigley, T. (23 de Noviembre de 1978). *Historical climatology*. Obtenido de *Nature*, 276(5686), 329-334: <https://doi.org/10.1038/276329a0>
- Inguil, E., Gomez, I., Bonnamy, G., & Gomez, M. (Junio de 2021). *Relatos sobre el Fenómeno de El Niño en el desierto de Sechura y La Laguna La Niña*. Obtenido de Fenómeno de Oportunidades: <https://elninophenomenon.wp.st-andrews.ac.uk/es/el-fenomeno-de-el-nino-historias-del-desierto-de-sechura-y-laguna-la-nina/>
- IPCC. (2014). *Anexo II: Glosario [Mach, K.J., S. Planton y C. von Stechow (eds.)]*. Obtenido de En: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza, págs. 127-141: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/03/AR5\\_SYR\\_Glossary\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/03/AR5_SYR_Glossary_es.pdf)

- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Obtenido de IPCC, Ginebra, Suiza: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)
- Juarez, J. (2020). *Análisis hidrológico en la subcuenca Charanal usando como herramienta el software libre gvSIG (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil)*. Obtenido de Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú: <https://hdl.handle.net/11042/4810>
- Kaulicke, P. (Enero de 1990). *Evidencias Paleoclimáticas en asentamientos del Alto Piura durante el periodo intermedio temprano*. Obtenido de ResearchGate. Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines 22(1):283-311: [https://www.researchgate.net/publication/315761364\\_Evidencias\\_paleoclimaticas\\_en\\_asentamientos\\_del\\_alto\\_Piura\\_durante\\_el\\_Periodo\\_Intermedio\\_Temprano](https://www.researchgate.net/publication/315761364_Evidencias_paleoclimaticas_en_asentamientos_del_alto_Piura_durante_el_Periodo_Intermedio_Temprano)
- Li, J., Xie, S.-P., Cook, E. R., Huang, G., D'Arrigo, R., Liu, F., . . . Zheng, X.-T. (2011). *Interdecadal modulation of El Niño amplitude during the past millennium*. Obtenido de Nature Climate Change, Vol. 1, Issue 2, pp. 114-118, May 2011 doi:10.1038/nclimate1086: [https://www.researchgate.net/publication/232799196\\_Interdecadal\\_modulation\\_of\\_El\\_Nino\\_amplitude\\_during\\_the\\_past\\_millennium](https://www.researchgate.net/publication/232799196_Interdecadal_modulation_of_El_Nino_amplitude_during_the_past_millennium)
- Li, J., Xie, S.-P., Cook, E. R., Morales, M. S., Christie, D. A., Johnson, N. C., . . . Fang, K. (Julio de 2013). *El Niño modulations over the past seven centuries*. Obtenido de ResearchGate. Nature Climate Change, 3(9), 822-826: [https://www.researchgate.net/publication/244131297\\_El\\_Nino\\_modulations\\_over\\_the\\_past\\_seven\\_centuries](https://www.researchgate.net/publication/244131297_El_Nino_modulations_over_the_past_seven_centuries)
- López, B., Rodríguez, R., Gracia, C., & Sabaté, S. (Junio de 2005). *Anatomía de madera, descripción de anillos anuales y respuestas a eventos ENSO de Prosopis pallida H.B.K., una planta leñosa de grandes extensiones de tierras áridas y semiáridas de América Latina*. Obtenido de Journal of Arid Environments, 61(4), 541-554: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.10.008>
- López, B., Rodríguez, R., Gracia, C., & Sabaté, S. (Abril de 2006). *Señales climáticas en crecimiento y su relación con eventos ENSO de dos especies de Prosopis siguiendo un gradiente latitudinal en Sudamérica*. Obtenido de Global Change Biology, 12(5), 897-906: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01138.x>
- Lopez, J. P. (2018). *Propuesta de mejora del proceso de cultivo de limón basado en modelos predictivos de rendimiento agrícola en los valles: Alto Piura y San Lorenzo*. Obtenido de <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1769/IND-LOP-AIT-19.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Mabres, A. (1988). El Zapote(Capparis Angulata): Testigo del pasado. *Zonas áridas*, 133-138. Obtenido de <http://www.lamolina.edu.pe/zonasaridas/za12/pdf/ZONAS%20ARIDAS%20VOL%20V.pdf>
- Mabres, A., Woodman, R., & Zeta, R. (1993). *Algunos apuntes históricos adicionales sobre la cronología de El Niño*. *Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos*, 22 (1), 395-406. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12816/1371>
- Macharé, J., & Ortlieb, L. (1993). *Registros del fenómeno El Niño en el Perú*. Obtenido de <http://www.ifea.org.pe/libreria/bulletin/1993/pdf/35.pdf>
- Macharé, J., Ortlieb, L., Woodman, R., & Guevara, J. (1990). *Posibles registros de lluvias relacionadas a "El Niño" en el desierto de Sechura, noroeste del Perú*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12816/525>
- Martínez, A. (Mayo de 2016). *Uso e importancia de las fuentes documentales escritas para el estudio del Fenómeno El Niño en Perú*. Obtenido de Boletín Técnico: Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/4625>
- Martínez, A., & Takahashi, K. (Junio de 2017). *¿El Niño costero o Fenómeno El Niño?* Obtenido de Revista Moneda, (170), 34-37: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/4620>
- Marzo, J. (2016). *Análisis de la influencia del cambio climático en las necesidades de climatización en Andalucía a escala de detalle territorial. (Tesis de doctorado en Procesos socioeconómicos, recursos y cambio global)*. Obtenido de Universidad de Sevilla. Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Programa de Doctorado de Geografía. Sevilla, España: <http://hdl.handle.net/11441/45211>
- Merayo, P. (Agosto de 2018). *Maxima Formación*. Obtenido de <https://www.maximaformacion.es/blog-dat/que-es-r-software/>
- MINAGRI - ANA. (2008). *El cambio climático no tiene fronteras: Impacto del cambio climático en la Comunidad Andina*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4600>
- MINAGRI. (2010). *Resumen Ejecutivo "ARROZ"*. Obtenido de <http://repositorio.minagri.gob.pe:80/jspui/handle/MINAGRI/383>
- MINAGRI. (2015). *Clima de la Sierra y Selva*. Obtenido de <https://www.midagri.gob.pe/portal/datero/53-sector-agrario/el-clima#>
- MINAGRI. (2015). *MINAGRI*. Obtenido de <https://www.minagri.gob.pe/portal/especial-iv-cenagro/30-sector-agrario/maiz/250-maiz?start=2#:~:text=El%20ma%C3%ADz%20amarillo%20duro%2C%20es,cosechas%20en%20junio%20y%20diciembre>

- MINAGRI. (2015). *Requerimientos agroclimáticos del cultivo de Limonero*. Obtenido de <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/ficha14-limonero.pdf>
- MINAGRI. (Mayo de 2017). *Informe del Arroz*. Obtenido de <https://redarperu.com/biblioteca/informe-del-arroz/>
- MINAGRI. (Diciembre de 2018). *Manual de abonamiento con guano de las islas*. Obtenido de <https://www.agrorural.gob.pe/wp-content/uploads/transparencia/dab/material/MANUAL%20DE%20ABONAMIENTO%20CON%20G.I..pdf>
- MINAGRI. (2019). Obtenido de <http://sissic.minagri.gob.pe/sissic/Content/pdf/info/003.pdf?var=388>
- MINAGRI. (Febrero de 2019). *Informe de monitoreo mensual del plan nacional de cultivos 2018-2019*. Obtenido de <http://sissic.minagri.gob.pe/sissic/Content/pdf/info/003.pdf?var=388>
- MINAGRI. (Junio de 2019). *Requerimientos Agroclimáticos del cultivo de arroz*. Obtenido de [www.minagri.gob.pe](http://www.minagri.gob.pe)
- MINAGRI. (Junio de 2019). *Requerimientos Agroclimáticos del cultivo de Maíz Amarillo Duro*. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/419902/ficha-tecnica-09-cultivo-mad.pdf>
- MINAGRI. (2020). *Observatorio de Comodities: Arroz*. Obtenido de [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1026014/Commodities\\_arroz\\_abr-jun\\_2020.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1026014/Commodities_arroz_abr-jun_2020.pdf)
- MINAGRI. (2020). *Observatorio de Comodities: Maíz amarillo Duro*. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1828756/Commodities%20Maiz%20Amarillo%20Duro%3A%20oct-dic%202020.pdf>
- MINAGRI. (s.f.). *Condiciones agroclimáticas del cultivo del Limonero*. Obtenido de [https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/biblioteca-virtual/estados-fenologicos/limon\\_condiciones\\_agroclimaticas.pdf](https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/biblioteca-virtual/estados-fenologicos/limon_condiciones_agroclimaticas.pdf)
- MINAGRI y SENAMHI. (2013). *Normales decadales de temperaturas y precipitación y Glosario de siembras y cosechas*. Lima. Obtenido de <http://repositorio.minagri.gob.pe:80/jspui/handle/MINAGRI/496>
- MINAM - PNUD. (Noviembre de 2021). *El Reino del Desierto y los Humedales: biodiversidad y conservación en Sechura - Piura*. Obtenido de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/355978810\\_El\\_Reino\\_del\\_Desierto\\_y\\_los\\_Humedales\\_biodiversidad\\_y\\_conservacion\\_en\\_Sechura\\_-\\_Piura](https://www.researchgate.net/publication/355978810_El_Reino_del_Desierto_y_los_Humedales_biodiversidad_y_conservacion_en_Sechura_-_Piura)

- MINAM. (2015). *Servicio de prospección, colección, elaboración de mapas de distribución y estudio socioeconómico de conocimientos tradicionales asociados al cultivo de las razas de maíz*. Obtenido de [https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/02/maiz\\_13regiones\\_2015.pdf](https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/02/maiz_13regiones_2015.pdf)
- MINAM. (Abril de 2016). *El Perú y el Cambio Climático. Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Obtenido de <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/3688.pdf>
- MINAM. (2017). *Servicio de Colecta, elaboración de mapas de distribución y estudio socioeconómico de la diversidad de algodón nativo*. Obtenido de [https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/02/algodon\\_vasquez\\_2015.pdf](https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/02/algodon_vasquez_2015.pdf)
- MINCETUR. (Marzo de 2018). *Reporte comercial de Productos: Arroz*. Obtenido de [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/31353/21986\\_Reporte\\_Comercial\\_de\\_Productos\\_Arroz2017.pdf20180706-19116-1nlawyv.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/31353/21986_Reporte_Comercial_de_Productos_Arroz2017.pdf20180706-19116-1nlawyv.pdf)
- MINCETUR. (abril de 2021). *Reporte de Comercio - Reporte Comercio Regional - RCR - Piura 2020 - Anual*. Obtenido de [Gov.pe: https://www.gob.pe/institucion/mincetur/informes-publicaciones/1882751-reporte-de-comercio-reporte-comercio-regional-rcr-piura-2020-anual](https://www.gob.pe/institucion/mincetur/informes-publicaciones/1882751-reporte-de-comercio-reporte-comercio-regional-rcr-piura-2020-anual)
- MINEDU. (s.f.). *¿Qué es el Fenómeno El Niño?* Obtenido de <http://www.minedu.gob.pe/campanias/pdf/triptico-web.pdf>
- Ministerio de Agricultura. (Setiembre de 2010). *Arroz en el Perú*. Obtenido de [https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/encarte\\_arroz\\_modificada.pdf](https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/encarte_arroz_modificada.pdf)
- Ministerio de Agricultura y Alimentación. (13 de Febrero de 1980). *Autoridad Nacional del Agua*. Obtenido de [https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/4047/ANA0002451\\_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/4047/ANA0002451_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ministerio de Energía y Minas. (2020). *Boletín estadístico minero*. Obtenido de <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/VARIABLES/2020/BEMabr2020.pdf>.
- Minitab. (5 de Abril de 2012). *Por qué necesita verificar sus gráficas residuales para el análisis de regresión*. Obtenido de Editor del blog de Minitab: <https://blog.minitab.com/en/adventures-in-statistics-2/why-you-need-to-check-your-residual-plots-for-regression-analysis>
- Montero, K. (2019). *Caracterización de ENSO y El Niño costero entre los años 1950-2018 en la región Piura (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil)*. Obtenido de Universidad de

- Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú: <https://hdl.handle.net/11042/4202>
- Mosquera, K., & Boris, D. (2016). *¿Por qué las ondas Kelvin oceánicas no impactaron tanto en la Costa del Perú durante el evento El Niño 2015/2016*. Obtenido de Boletín técnico: Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño, Instituto Geofísico del Perú, 3 (3), 4-8: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/4649>
- Municipalidad distrital de Sechura. (2019). *Plan de desarrollo urbano Sechura 2020-2030*. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/10rAo3DHdyN6rjvIkDv1I5GR-hZbkqpxp/view>
- Municipalidad Provincial de Sechura. (Setiembre de 2010). *Plan de Desarrollo Concertado de la Provincia de Sechura Región Piura 2010 - 2020*. Obtenido de [https://www.munisechura.gob.pe/pdf/pdc\\_2011.pdf](https://www.munisechura.gob.pe/pdf/pdc_2011.pdf)
- Municipalidad Provincial de Sechura. (2018). *Plan de Desarrollo Concertado Provincial Sechura al 2021 con Prospectiva al 2030*. Obtenido de [https://www.munisechura.gob.pe/pdf/pdc\\_2019.PDF](https://www.munisechura.gob.pe/pdf/pdc_2019.PDF)
- Municipalidad Provincial de Sechura. (s.f.). *Plan Estratégico Institucional 2011 – 2015*. Obtenido de [https://munisechura.gob.pe/pdf/pei\\_2011.pdf](https://munisechura.gob.pe/pdf/pei_2011.pdf)
- National Geographic. (28 de Abril de 2018). *Exclusiva: un sacrificio masivo de niños y llamas en el Perú del siglo XV*. Obtenido de [https://historia.nationalgeographic.com.es/a/exclusiva-sacrificio-masivo-ninos-y-llamas-peru-siglo-xv\\_12644/5](https://historia.nationalgeographic.com.es/a/exclusiva-sacrificio-masivo-ninos-y-llamas-peru-siglo-xv_12644/5)
- National Research Council. (2006). *Surface Temperature Reconstructions for the Last 2,000 Years*. Obtenido de Washington, DC: The National Academies Press.: <https://doi.org/10.17226/11676>
- Nelson, G., Rosegrant, M., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, S., . . . Lee, D. (2009). *Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. Obtenido de Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI. Washington, D.C.: <https://www.ifpri.org/es/publication/cambio-clim%C3%A1tico>
- Nials, F., Deeds, E., Moseley, R., Posorski, S., Posorski, T., & Feldman, R. (1979). El Niño: The Catastrophic Flooding of Coastal Peru. *Field Museum of Natural History Bulletin*, 4 - 14 (Parte 1). Obtenido de <https://www.biodiversitylibrary.org/item/21020#page/256/mode/1up>
- Nials, F., Deeds, E., Moseley, R., Posorski, S., Posorski, T., & Feldman, R. (1979). El Niño: The Catastrophic Flooding of Coastal Peru. *Field Museum of rHatural History Bulletin*, 4-10 (Parte 2). Obtenido de <https://www.biodiversitylibrary.org/item/21020#page/256/mode/1up>

- OMM. (2018). *Guías de prácticas Meteorológicas*. Obtenido de [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10027](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10027)
- OMM y UNESCO. (2012). *Glosario Hidrológico Internacional*. Obtenido de WMO- No. 385 (3era edición): [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=7394#.YPeVlehKJIU](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=7394#.YPeVlehKJIU)
- Ortlieb, L. (2000). The Documented Historical Record of El Niño Events in Peru: An Update of the Quinn Record (Sixteenth through Nineteenth Centuries). En L. Ortlieb, *The Documented Historical Record of El Niño Events in Peru: An Update of the Quinn Record (Sixteenth through Nineteenth Centuries)* (págs. 207-295). Cambridge Univ. Press. Obtenido de *El Niño and the Southern Oscillation: Variability, Global and Regional Impacts* (pp.207-295).
- Ortlieb, L., Fournier, M., & Macharé, J. (Enero de 1993). *Series de cordones litorales en el norte de Perú: Cronología, correlación y relación con los principales eventos de El Niño del Holoceno tardío*. Obtenido de *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 22, 191-212: [https://www.researchgate.net/publication/26431026\\_Beach-ridge\\_series\\_in\\_northern\\_Peru\\_Chronology\\_correlation\\_and\\_relationship\\_with\\_major\\_Late\\_Holocene\\_El\\_Niño\\_events](https://www.researchgate.net/publication/26431026_Beach-ridge_series_in_northern_Peru_Chronology_correlation_and_relationship_with_major_Late_Holocene_El_Niño_events)
- Ortlieb, L., Macharé, J., Fournier, M., & Woodman, R. (1989). La Secuencia de cordones litorales de Colán (Piura): Un registro del fenómeno El Niño en el Holoceno Superior. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 60, 107-121. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12816/626>
- Palacios, C. (2010). *Caudales de diseño en el río Piura y su variación histórica ante el Fenómeno El Niño (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil)*. Obtenido de Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú: <https://hdl.handle.net/11042/2713>
- Pizarro, R., Auseni, P., Aravena, D., Sangüesa, C., Lastenia, L., & Balocchi, F. (Septiembre de 2009). *Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la región del Maule, Chile*. Obtenido de <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/images/AquaLAC2-Sep2009-web-86-98.pdf>
- PREGOGEOGRAFIA. (26 de Noviembre de 2007). *¿Cómo analizar e interpretar un climograma?* Obtenido de <https://pregogeografia.blogia.com/2007/112601--c-mo-analizar-e-interpretar-un-climograma-.php>
- Prieto, M., Rojas, F., & Castillo, L. (Agosto de 2018). *La climatología histórica en Latinoamérica. Desafíos y perspectivas*. Obtenido de <https://doi.org/10.4000/bifea.9706>

- PUCP. (s.f.). *Estación meteorológica Hipólito Unánue*. Obtenido de <http://meteorologia.pucp.edu.pe/estacion/aaresena.html>
- Quinn, W. (1993). *The large-scale ENSO event, the El Niño and other important regional features*. Obtenido de Bull. Inst. fr. études andines, 22(1), 13-34: <http://www.ifea.org.pe/libreria/bulletin/1993/pdf/13.pdf>
- Raffino, M. (28 de Agosto de 2020). *Climatología*. Obtenido de Concepto.de: <https://concepto.de/climatologia/>
- Ramos Jauregui, L. (2014). *Estimación del efecto del cambio climático en la precipitación en la costa norte del Perú usando simulaciones de modelo climáticos globales (Tesis para optar el título de Ingeniero Meteorólogo)*. Obtenido de Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Portal IGP: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/47>
- Ramos, Y. (Agosto de 2015). *El cambio climático y la lluvia en la costa norte*. Obtenido de Boletín técnico: Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5064>
- Reyes, P. (Setiembre de 2014). *El algodón Pima Peruano: Cultivo y manejo agronómico*. Obtenido de <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1139/Libro%20Algodon.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Rocha, A. (Agosto de 2014). *Los aluviones de 1891 y la iniciación de las investigaciones sobre el Fenómeno "El Niño" (ENSO) en el Perú*. Obtenido de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/315829334\\_LOS\\_ALUVIONES\\_DE\\_1891\\_Y\\_LA\\_INICIACION\\_DE\\_LAS\\_INVESTIGACIONES SOBRE\\_EL\\_FENOMENO\\_EL\\_NINO\\_ENSO\\_EN\\_EL\\_PERU](https://www.researchgate.net/publication/315829334_LOS_ALUVIONES_DE_1891_Y_LA_INICIACION_DE_LAS_INVESTIGACIONES SOBRE_EL_FENOMENO_EL_NINO_ENSO_EN_EL_PERU)
- Rocha, A. (s.f.). *El Meganiño de 1971 en el Perú y el mundo*. Obtenido de [http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas\\_interes/ROCHA/Meganino\\_de\\_1791\\_en\\_el\\_Peru\\_y\\_el\\_mundo.pdf](http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/ROCHA/Meganino_de_1791_en_el_Peru_y_el_mundo.pdf)
- Rodríguez, R., & Fernández, R. (2009). *Dendrocronología Básica*. Piura.
- Rodríguez, R., Córdova, E., Saavedra, A., Adanaqué, J., Gomes, M., Mabres, A., . . . Evans, M. (2003). Primer Congreso Internacional de Bosques Secos (CIBOS). *Dendrocronología con especies del bosque seco del noroeste del Perú*. Piura.
- Rodriguez, R., Mabres, A., Luckmanb, B., Michael, E., Masiokas, M., & Ektvedt, T. (2005). "El Niño" events recorded in dry-forest species of the lowlands. *Dendrochronologia*, 181–186. Obtenido de <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56978670/j.dendro.2005.05.00220180711-7399-9g8s23.pdf?1531350918=&response-content->

disposition=inline%3B+filename%3DEI\_Nino\_events\_recorded\_in\_dry\_forest\_s.pdf&Expires=1618732429&Signature=PM--48JnDJdvwtjZ3RzCjeWejtq

- Rodríguez, R., Woodman, R., Balsley, B., Mabres, A., & Phipps, R. (1993). *Avances sobre estudios dendrocronológicos en la región costera norte del Perú para obtener un registro pasado del Fenómeno El Niño*. Obtenido de Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos, 22 (1), 267-281.: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/1373>
- Salazar, P., Navarro, R., Ancajima, E., Duque, J., Rodríguez, R., Ghezzi, I., & Mabres, A. (Abril de 2018). *Efecto de los eventos climáticos y ENOS en los bosques de Prosopis pallida a lo largo de un gradiente climático*. Obtenido de Forestry: An International Journal of Forest Research, 91 (5), 552-562: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpy014>
- Sandweiss, D. (1986). *The Beach Ridges at Santa, Peru: El Niño*.
- Sedano, R. (Setiembre de 2017). *Influencia de la variabilidad climática en la modelación estadística de extremos hidrológicos en el Valle Alto del río Cauca, Colombia. (Tesis de Doctorado en Ingeniería del agua y medioambiental)*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Valencia, España.: <https://doi.org/10.4995/thesis/10251/90579>
- Seiner, L. (Setiembre de 2001). *El fenómeno El Niño en el Perú: reflexiones desde la historia*. Obtenido de Debate agrario, (33), 1: <https://www.divulgameteo.es/fotos/meteoroteca/Ni%C3%B1o-reflexiones-historia.pdf>
- SENAMHI. (2009). *Manual práctico de terminología meteorológica e hidrológica para la difusión masiva del dato y su uso en la gestión de riesgo*. La Paz-Bolivia. Obtenido de [https://www.senamhi.gob.bo/publicaciones/Manuales/Manual\\_de\\_terminologia/Manual\\_de\\_terminologia.pdf](https://www.senamhi.gob.bo/publicaciones/Manuales/Manual_de_terminologia/Manual_de_terminologia.pdf)
- SENAMHI. (2013). *Protocolo para la instalación y operación de estaciones meteorológicas, agrometeorológicas e hidrológicas*. Lima. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39778>
- SENAMHI. (2014). *El fenómeno EL NIÑO en el Perú*. Obtenido de [https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final\\_web.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final_web.pdf)
- SENAMHI. (2016). *Caracterización y escenarios climáticos de la región Piura*. Lima. Obtenido de <http://siar.regionpiura.gob.pe/documentos/repositorio/2584.pdf>
- SENAMHI. (2017). *Impacto de la variabilidad y cambio climático en cultivo de maíz amarillo duro en condiciones de costa central*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-72.pdf>

- SENAMHI. (Enero de 2018). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI]*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/03708SENA-29.pdf>
- SENAMHI. (Marzo de 2020). *Orientaciones para el análisis del clima y determinación de los peligros asociados al cambio climático*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01402SENA-12.pdf>
- SENAMHI. (Enero de 2020). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI]*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02243SENA-33.pdf>
- SENAMHI. (2021). *Climas del Perú. Mapa de Clasificación Climática Nacional*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf>
- SENAMHI. (s.f.). *Pronóstico del tiempo para Piura*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=piura&p=pronostico-detalle>
- SENAMHI, M. (2018). *Requerimientos Agroclimáticos del cultivo de algodón*. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/419910/ficha-tecnica06-cultivo-algodon.pdf>
- SENAMHI; MINAM. (2014). *El fenómeno EL NIÑO en el Perú*. Obtenido de [http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final\\_web.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final_web.pdf)
- SIEA; MIDAGRI. (2021). *Calendario Agrícola*. Obtenido de <https://siea.midagri.gob.pe/portal/calendario/>
- SIICEX. (22 de setiembre de 2014). *Limón Tahiti*. Obtenido de <https://www.siicex.gob.pe/siicex/resources/fichaproducto/114pdf2014Sep22.pdf>
- Sosa, J. (2016). *Análisis de la sequía hidrológica en el Perú. (Tesis de licenciatura en Ingeniería Agrícola)*. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Nacional Agraria La Molina: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2491>
- Stahle, D., D'Arrigo, R., Krusic, P., Cleaveland, M., Cook, E., Allan, R., . . . Thompson, L. (1998). *Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation*. Obtenido de American Meteorological Society: <https://www.ncdc.noaa.gov/paleo/study/6238>
- Szretter, M. (Octubre de 2017). *Apunte de Regresión Lineal*. Obtenido de [http://mate.dm.uba.ar/~meszre/apunte\\_regresion\\_lineal\\_szretter.pdf](http://mate.dm.uba.ar/~meszre/apunte_regresion_lineal_szretter.pdf)
- Szretter, M. (Octubre de 2017). *Apunte de Regresión Lineal*. Obtenido de [http://mate.dm.uba.ar/~meszre/apunte\\_regresion\\_lineal\\_szretter.pdf](http://mate.dm.uba.ar/~meszre/apunte_regresion_lineal_szretter.pdf)
- Szretter, M. E. (Octubre de 2017). *Apunte de Regresión Lineal*. Obtenido de [http://mate.dm.uba.ar/~meszre/apunte\\_regresion\\_lineal\\_szretter.pdf](http://mate.dm.uba.ar/~meszre/apunte_regresion_lineal_szretter.pdf)

- Takahashi, K. (Junio de 2014). *El Niño y el cambio climático*. Obtenido de Boletín técnico: Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5045>
- Takahashi, K. (Febrero de 2014). *Variedades de El Niño*. Obtenido de Boletín técnico: Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5042>
- Takahashi, K. (Febrero de 2017). *Estimación de la distribución de la temperatura superficial del mar*. Obtenido de Boletín técnico: Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño, Instituto Geofísico del Perú: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5099>
- Takahashi, K. (Abril de 2017). *Fenómeno El Niño: "Global" vs "Costero"*. Obtenido de Boletín técnico: Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5101>
- Takahashi, K., Mosquera, K., & y Reupo, J. (Febrero de 2014). *El Índice Costero El Niño (ICEN): historia y actualización*. Obtenido de Boletín técnico: Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño,: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/4639>
- Uceda, S., & Canziani, J. (1993). *Evidencias de grandes precipitaciones en diversas etapas constructivas de la Huaca de la Luna, costa norte del Perú*. Obtenido de Bull. Inst. fr. études andines, 22(1), 313-343.: <http://www.ifea.org.pe/libreria/bulletin/1993/pdf/313.pdf>
- UNESCO - GRID-Arendal. (2018). *El Atlas de Glaciares y Aguas Andinos: el impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos*. Obtenido de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000266209>
- UNESCO-ROSTLAC. (Octubre de 1982). *Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur*. Montevideo. Obtenido de [https://hydrologie.org/BIB/Publ\\_UNESCO/SR\\_999\\_S\\_1982.pdf](https://hydrologie.org/BIB/Publ_UNESCO/SR_999_S_1982.pdf)
- USGS. (2021). *Paleoclimate: Archives*. Obtenido de Paleoclimate Research: <https://www2.usgs.gov/landresources/lcs/paleoclimate/archives.asp>
- Vargas, F. (2015). *Sistema de información en línea para el seguimiento del fenómeno El Niño en la costa norte del Perú (Tesis para optar el título de Ingeniería Industrial y de Sistemas)*. Obtenido de Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Piura, Perú.: <https://hdl.handle.net/11042/2271>

- Vargas, P. (Agosto de 2009). *El Cambio Climático y sus efectos en el Perú*. Banco Central de Reserva del Perú. Obtenido de Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA): <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/cambio-climatico-sus-efectos-peru>
- Weather Spark. (31 de Diciembre de 2016). *El clima promedio en Sechura*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/18256/Clima-promedio-en-Sechura-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Wilson, R., E. Cook, R., D'Arrigo, N., Riedwyl, M., Evans, A., & Tudhope, a. R. (Enero de 2010). *Reconstructing ENSO: the influence of method, proxy data*, . Obtenido de <https://www.ncei.noaa.gov/pub/data/paleo/treering/reconstructions/enso-wilson2010.txt>
- Woodman, P., Ronald, F., & Mabres, A. (1993). *Formación de un cordón litoral en Máncora, Perú, a raíz de El Niño de 1983*. Obtenido de Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines, 22 (1), 213-226: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/1504>
- Woodman, R., & Takahashi, K. (Junio de 2014). *¿Por qué no llueve en la costa del Perú (salvo durante El Niño)?*. Obtenido de Boletín técnico: Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5046>
- Yzarra, W., Trebejo, I., & Noriega, V. (2010). *Evaluación del efecto del clima en la producción y productividad del maíz amarillo duro en la costa central del Perú*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-10.pdf>



2011												
2010												
2009												Débil
2008												Débil
2007												
2006												Moderado
2005												Moderado
2004												Débil
2003												Débil
2002												Débil
2001												
2000												
1999												
1998										Rocha (MEGANIÑO 1998) menciona que la OMM señaló que este fenómeno trajo como consecuencia que disminuyese la rotación de la tierra y el día 5 de febrero fuese el más largo del año.  Sechura sufrió la erosión de la vía Piura-Sechura.  En Piura colapsó el Puente Bolognesi.  Se formó la Laguna La Niña.		Extraordinario
1997												Extraordinario
1995												Débil
1994												Débil
1993												Débil
1992			NIÑO	F	3	F	3					Moderado
1991			NIÑO	F	3							Moderado
1990												

1989												
1988												
1987			NIÑO	M	5	M	4		M			
1986			NIÑO	M	5							Moderado
1985												
1984												
1983			NIÑO	MF	5	MF	5		MF		Rocha (1791): Fuertes lluvias en Piura durante 6 meses, lo cual trajo grandes pérdidas en la pesquería.	Extraordinario
1982			NIÑO	MF	5	MF	5					Extraordinario
1981												
1980			NIÑO	M-	3							
1979			NIÑO	M-	3							
1978												
1977			NIÑO	M	5							
1976			NIÑO	M	5	M	5		M			Débil
1975												
1974												
1973			NIÑO	F+	5	F	5					Moderado
1972			NIÑO	F+	5	F	5		F			Moderado
1971												
1970												
1969			NIÑO	M-	3	M-	3					Moderado
1968			NIÑO	M-	3							
1967												
1966			NIÑO	F	5							
1965	Niño moderado		NIÑO	F	5	M+	5		M			Moderado
1964												
1963												
1962												

1961												
1960												
1959												
1958			NIÑO	F	5	F	5					Moderado
1957			NIÑO	F	5	F	5		F			Moderado
1956												
1955												
1954												
1953			NIÑO	M	5	M+	5		M			Débil
1952			NIÑO	M+	5							
1951			NIÑO	M+	5	M-	5		M			Moderado
1950												
1949												
1948												
1947												
1946												
1945												
1944			NIÑO	M	5							
1943			NIÑO	M	5	M+	5		M			
1942												
1941			NIÑO	MF	5	F	5					
1940			NIÑO	MF	5	F	5		F			
1939			NIÑO	M	4	M+	5		M			
1938												
1937												
1936												
1935												
1934												
1933												
1932			NIÑO	M+	5	F	5		F			
1931			NIÑO	M+	5	M	5					

1930			NIÑO	M+	5	M	5		M			
1929			NIÑO	M+	5							
1928												
1927												
1926	Niño		NIÑO	F	5	MF	5					
1925	Niño		NIÑO	F	5	MF	5		MF			
1924												
1923			NIÑO	M	5	M	5		M			
1922												
1921												
1920			NIÑO	F+	5							
1919			NIÑO	F+	5	M	5					
1918			NIÑO	F+	5	M	5		M			
1917						M+	5		F			
1916												
1915			NIÑO	F+	5	M+	5					
1914			NIÑO	F+	5	M+	5		M			
1913			NIÑO	F+	5							
1912			NIÑO	M+	5	M	5					
1911			NIÑO	M+	5	M	5		F			
1910						M+	4					
1909												
1908												
1907			NIÑO	M+	5	M+	4		M			
1906												
1905			NIÑO	F	5	M-	5		M			
1904			NIÑO	F	5	M-	5					
1903												
1902			NIÑO	F+	5	M+	5		M			
1901			NIÑO	F+	5							
1900			NIÑO	MF	5	F	5	No EN				

1899			NIÑO	MF	5	F	5	F	F	Posible FEN	Garcia-Herrera (2008): Evidencias contradictorias para diferentes lugares de Perú. Los informes de las inundaciones y los daños de las inundaciones de finales de 1899 sugieren una EN en 1899-1900.
1898											
1897			NIÑO	M+	5	M+	4	M		Posible FEN	Garcia-Herrera (2008): Inundaciones en la ciudad, más carreteras inundadas sugieren EN.
1896			NIÑO	M+	5			Not in Q93. No EN.	M		
1895											
1894											
1893											
1892	Lluvias Torrenciales										
1891	Lluvias Torrenciales	Muy fuerte	NIÑO	M	5	MF	5	MF	MF	Posible FEN	Ortlieb (1992): fuertes lluvias, que incluso arrasó el 7 de abril con el puente Piura.
1890											
1889		Niño débil	NIÑO	F	5	M	4	D?		Posible FEN	Garcia-Herrera (2008): La mayoría de las fuentes son bastante vagas y ambiguas; pero hay una referencia a «aguas abundantes», que puede entenderse como fuertes lluvias, además de varias referencias a inundaciones severas.
1888		Niño débil	NIÑO	F	5	M	4	D?			
1887		Niño débil	NIÑO	F	5	M	4	D?	M		
1886											
1885			NIÑO	M+	4						
1884		Niño fuerte	NIÑO	M+	4	F+	5	S	MF	Probable FEN	Garcia-Herrera (2008): La evidencia de inundaciones sugiere EN.

1883												
1882												
1881			NIÑO	M+	5							
1880		Niño débil	NIÑO	M+	5	M	3	D?	M			
1879												
1878		Niño fuerte	NIÑO	MF	5	MF	5			Probable FEN	García-Herrera (2008): No hay menciones directas de lluvias, pero muchos informes sobre inundaciones extraordinarias.	
1877		Niño fuerte	NIÑO	MF	5	MF	5		MF	Probable FEN		
1876			NIÑO	MF	5							
1875												
1874			NIÑO	M+	5	M	4	No EN	M			
1873			NIÑO	M+	5							
1872		Año seco										
1871		Fuerte	NIÑO	M	3	F+	5	S	MF	Posible FEN	García-Herrera (2008): Amplia evidencia en EN de estudios previos.	
1870										Posible FEN	García-Herrera (2008): La referencia a «abundancia de aguas» se entiende como precipitación.	
1869			NIÑO	F+	5							
1868		Niño muy débil	NIÑO	F+	5	M+	5	No EN				
1867		Niño muy débil	NIÑO	F+	5	M+	5	No EN	M			
1866		Niño débil	NIÑO	M+	4	M+	4	M?	M			
1865			NIÑO	M+	4							
1864		Moderado	NIÑO	F+	5	F	5	F	MF	Posible FEN	García-Herrera (2008): Estudios previos apuntan a un evento EN claro.	
1863										Posible FEN	García-Herrera (2008): La evidencia es algo contradictoria, pero múltiples informes de inundaciones y abundante agua sugieren EN.	

1862		Niño débil	NIÑO	M-	2	M-	2	D?		Possible FEN	Garcia-Herrera (2008): Una clara referencia a las fuertes lluvias, además de varias referencias indirectas a las inundaciones.
1861								?			
1860		Año seco-anti niño	NIÑO	M	3	M	4	No EN	M		
1859			NIÑO	M+	5						
1858		No hubo niño	NIÑO	M+	5	M	5	No EN?			
1857		Niño débil	NIÑO	M+	5	M	5	M?	M		
1856											
1855			NIÑO	F	5						
1854		Niño Débil	NIÑO	F	5	M	3	D?	M		
1853			NIÑO	M	4						
1852			NIÑO	M	4	M	3	D?			
1851											
1850		Niño Débil	NIÑO	F	5	M	4	D?	M		
1849											
1848											
1847											
1846			NIÑO	MF	5	F	5	No EN?			
1845		Moderado	NIÑO	MF	5	F	5	F		Possible FEN	
1844		Moderado	NIÑO	MF	5	F	5	F	MF		
1843											
1842											
1841											
1840											
1839			NIÑO	F	5						
1838			NIÑO	F	5						
1837			NIÑO	F	5	M+	4	M	M	Possible FEN	Garcia-Herrera (2008): No hay evidencias en el área de Trujillo, pero otras

											referencias sugieren un evento EN.
1836			NIÑO	M	3						
1835			NIÑO	M	3						
1834										Posible FEN	Garcia-Herrera (2008): Referencia a "puentes totalmente destruidos" y mención reiterada a las inundaciones.
1833			NIÑO	F+	5						
1832		Moderado	NIÑO	F+	5	M+	5	M	M		
1831											
1830			NIÑO	M	3	M	2				
1829											
1828	Años de lluvia "extraordinaria"	Niño fuerte	NIÑO	F+	5	MF	5	MF	MF	Posible FEN	Ortlieb (1992): Se encuentran escritos de Eguiguren donde se menciona que en Piura llovió por 14 días. Rocha (1791): Indica la formación de un río en Sechura.
1827			NIÑO	F+	5						
1826											
1825			NIÑO	F	5						
1824		Moderado	NIÑO	F	5	M+	4	M?	M		
1823											
1822											
1821		Moderado	NIÑO	M	3	M	4	M	M	Posible FEN	Garcia-Herrera (2008): Algunas evidencias secundarias de las condiciones EN en Piura. Informes primarios contradictorios en 1820 sobre Trujillo.
1820											
1819		Moderado	NIÑO	M+	3	M+	3	M	M	Posible FEN	Garcia-Herrera (2008): Evento EN extendido. Las referencias sobre los ríos
1818											

1817		Moderado	NIÑO	M+	3	M+	4		M	Posible FEN	en fase de inundación y las inundaciones generalizadas sugieren en EN.
1816											
1815											
1814	Años de lluvia "extraordinaria"	Fuerte	NIÑO	F	3	F	3	M	M (?)	Probable EN	
1813											
1812		--	NIÑO	M+	3	M+	2	No EN	M	Probable EN	Garcia-Herrera (2008): La referencia es algo ambigua, pero sugiere que es EN.
1811											
1810			NIÑO	M	2	M	2				
1809											
1808											
1807		Lluvias de la sierra	NIÑO	M	3	M	3	No EN			
1806		Lluvias de la sierra	NIÑO	M	3	M	3	No EN	M		
1805											
1804	Años de lluvia "extraordinaria"	Moderado	NIÑO	F+	5	F+	5	S		Probable EN	Garcia-Herrera (2008): Se documenta (1803) una "avenida", sugiere un tipo de inundación perjudicial; mayor que los niveles altos normales del río. No hay evidencia en Trujillo de un evento EN en 1804 en los archivos, pero sí suficiente evidencia primaria de condiciones EN.
1803		Moderado	NIÑO	F+	5	F+	5	S	MF	Probable EN	
1802			NIÑO	F+	5						
1801											
1800										Probable EN	Garcia-Herrera (2008): La "abundancia de agua" es un poco inespecífica, pero puede interpretarse como una prueba de fuertes lluvias. La formación de pantanos y la referencia adicional a la epidemia

											también son consistentes con un evento EN.	
1799			NIÑO	M	2							
1798												
1797			NIÑO	M+	3							
1796			NIÑO	M+	3							
1795			NIÑO	M+	3							
1794			NIÑO	M+	3					Posible FEN	García-Herrera (2008): La referencia a “avenidas” en marzo es sugerente, además de otras referencias a inundaciones y referencia a lluvias, sugieren un evento EN en 1793-1794.	
1793			NIÑO	MF	5							
1792			NIÑO	MF	5							
1791	Años de lluvia "extraordinaria"	Fuerte	NIÑO	MF	5	MF	5	S		MF	Probable EN	Rocha (1791): Daños en la Agricultura, especialmente en Lambayeque.
1790			NIÑO	MF	5							
1789												
1788												
1787											Probable EN	
1786		--	NIÑO	M+	3	M+	2	No EN				
1785		--	NIÑO	M+	3	M+	2	M		F	Probable EN	García-Herrera (2008): Fracaso de la pesca y posible (aunque algo ambiguo) informe de lluvias; además de varias menciones de agua abundante para los cultivos.
1784			NIÑO	MF	5							
1783			NIÑO	MF	5	F	3	No EN?				
1782			NIÑO	MF	5	F	3					
1781												
1780												

1779		--						Not in Q93				
1778			NIÑO	M+	3	F	3	No EN?				
1777			NIÑO	M+	3	F	3					
1776			NIÑO	M+	3	F	3					
1775		--						Not in Q93. No EN	F			
1774												
1773			NIÑO	M	3					Posible FEN	Garcia-Herrera (2008): La referencia a la abundancia de agua sugiere lluvias; las altas temperaturas en marzo también son un indicador EN.	
1772			NIÑO	M	3	M	2					
1771												
1770	Lluvias											
1769			NIÑO	M+	4							
1768			NIÑO	M+	4	M	3	?				
1767												
1766			NIÑO	M+	2					Posible FEN	Garcia-Herrera (2008): Referencia única, con indicación clara de daños generalizados causados por lluvias e inundaciones.	
1765			NIÑO	M+	2	M	2					
1764								No EN				
1763	Lluvias											
1762			NIÑO	F	3							
1761		Duda	NIÑO	F	3	F	5	M?	F			
1760												
1759												
1758			NIÑO	M	1	M	1					
1757												
1756								No EN				
1755			NIÑO	F	2	M	2	No EN				
1754			NIÑO	F	2	M	2					

1753												
1752												
1751			NIÑO	M+	2	M+	3					
1750		--						Not in Q93. No EN.				
1749												
1748		Fuerte	NIÑO	F	3			S				
1747	Lluvias	Fuerte	NIÑO	F	3	F+	5	S		F		
1746												
1745												
1744			NIÑO	M+	3	M+	3	No EN				
1743												
1742												
1741												
1740								Not in Q93. No EN.				
1739												
1738									Possible FEN		Garcia-Herrera (2008): Salvo la crecida del río Chicama, no está claro cuál es la causa de las "humedades" mencionadas en las fuentes. Sin embargo, el balance sugiere una EN.	
1737			NIÑO	F	3	F	3					
1736								Not in Q93. No EN.				
1735												
1734			NIÑO	M	2	M	2					
1733												
1732												
1731			NIÑO	M+	2					Possible FEN		
1730												
1729												

1728	Lluvia muy fuerte	Muy Fuerte	NIÑO	M	3	MF	5	MF	MF	Probable EN	Ortlieb (1992): Távara, un autor citado por Eguiguren menciona que en este año la represa del Río Piura se rompió.
1727											
1726	No llovió									Posible FEN	García-Herrera (2008): La identificación de este año como un año EN depende de una sola fuente secundaria, pero con referencias claras a las condiciones EN.
1725			NIÑO	M	2						
1724											
1723			NIÑO	F	4	M+	4	No EN			
1722											
1721											
1720	Lluvias	Fuerte	NIÑO	M+	3	MF	5	S	MF	Probable EN	García-Herrera (2008): Evento EN extendido. Una referencia (1718) probable a las fuertes lluvias, más una referencia a la abundante agua para los cultivos sugieren que este es un año EN. Informe (1719) puede interpretarse como lluvia anómala.
1719										Probable EN	Ortlieb 1992, encontró registros (1720) sobre la destrucción de la ciudad de Zaña, el río arrasó con la ciudad, después que hubiera aguaceros por más de 15 días.
1718			NIÑO	M	2	M+	2	M?		Probable EN	
1717											
1716			NIÑO	F+	3	F	3	No EN?			
1715		--	NIÑO	F+	3	F	3	No EN			
1714		--	NIÑO	M+	3			No EN	F		
1713			NIÑO	M+	3	M	2			Posible EN	García-Herrera (2008): Zanja dañada en Mochica. Etapa de inundación anormal en el río.

1712												
1711												
1710												
1709			NIÑO	M	2	M/F	3	No EN				
1708			NIÑO	M	2	M/F	3	No EN				
1707		Fuerte	NIÑO	M	2	M/F	3	No EN	F			
1706												
1705												
1704			NIÑO	F	3	M	2					
1703			NIÑO	F	3							
1702												
1701	Lluvias	Fuerte	NIÑO	M	3	F+	5	S	MF	Probable EN	Ortlieb (1992): se pueden leer testimonios de que las fuertes lluvias dañaron sembríos, sobre todo de caña. Garcia-Herrera (2008): Todas las referencias relevantes (pesca, lluvia, inundación) provienen de un solo informe, pero son muy específicas de las condiciones EN.	
1700												
1699												
1698												
1697			NIÑO	M	2	M+	3	No EN				
1696		--						Not in Q93. M?	F			
1695			NIÑO	MF	2	M	2					
1694			NIÑO	MF	2							
1693								No EN				
1692			NIÑO	M+	2	F	3	No EN				
1691												
1690												
1689										Probable EN	Garcia-Herrera (2008): Todas las referencias	

											relevantes (pesca, lluvia, inundación) provienen de un solo informe, pero son muy específicas de las condiciones EN.	
1688		Niño Fuerte	NIÑO	F	3			M?				
1687		Niño Fuerte	NIÑO	F	3	F+	4	M?	MF			
1686								M?		Probable EN	Garcia-Herrera (2008): Los informes son de AGI en 1690, pero se refieren explícitamente a 1686, con evidencia específica de EN.	
1685												
1684			NIÑO	M+	2	M+	3	No EN?				
1683			NIÑO	M+	2							
1682												
1681		--	NIÑO	F	2	F	2	No EN	F			
1680												
1679												
1678								M?				
1677												
1676												
1675												
1674												
1673												
1672												
1671		--	NIÑO	M+	2	F	3	No EN?	F			
1670												
1669												
1668												
1667												
1666												
1665												
1664												

1663												
1662												
1661			NIÑO	MF	3	F	2			Probable EN	Garcia-Herrera (2008): Un informe (1675) se refiere a daños y fuertes lluvias «hace catorce años» [1661]. El informe de inundaciones y zanjas dañadas no está vinculado específicamente a las lluvias, pero es consistente con ellas; infestación de langostas indicativa de EN.	
1660		Falta evidencia						Not in Q93. No EN.	F			
1659												
1658												
1657												
1656												
1655			NIÑO	M	2	M	2	No EN				
1654												
1653				M	2							
1652	Inundaciones severas en Lima	Lluvias de la sierra	NIÑO	M	2	F+	3	No EN?	MF			
1651												
1650			NIÑO	F+	3	M	3					
1649												
1648												
1647			NIÑO	M	3	M+	3	No EN				
1646												
1645										Posible EN	Garcia-Herrera (2008): La evidencia no es muy clara, pero la referencia a los altos niveles de los ríos es indicativa de EN, y la referencia a la enfermedad en la ciudad es intrigante, aunque ambigua.	

1644													
1643													
1642													
1641			NIÑO	F+	3	M	2	No EN					
1640			NIÑO	F+	3	M	2	No EN					
1639													
1638													
1637													
1636													
1635			NIÑO	M	3	F	3	No EN?					
1634		--						Not in Q93. No EN.	F	Probable EN	Garcia-Herrera (2008): Múltiples reportes de lluvias generalizadas, inundaciones, daños.		
1633													
1632													
1631			NIÑO	F+	3								
1630			NIÑO	F+	3	M	2						
1629													
1628													
1627													
1626										Posible EN	Garcia-Herrera (2008): Evento EN extendido. Referencia de Cobo (1623 o 1624) a copiosas lluvias e inundaciones en Zaña y Trujillo. Un reporte de lluvias generalizadas. Informes de daños (1626) pueden estar relacionados con la lluvia excesiva. El informe sobre la toma de pescado de los indios en contra de su voluntad es ambiguo; no implica necesariamente escasez.		
1625													
1624	Lluvias fuertes	Niño Fuerte	NIÑO	M+	2	F+	4	M?	MF	Posible EN			
1623													

1622								M?				
1621			NIÑO	F	3	M+	2					
1620										Posible EN	Garcia-Herrera (2008): Evento EN extendido. Un informe del 09/1618 se refiere a la lluvia y los insectos a principios de año, que son indicativos de EN en 1617-18. Una sola referencia hace hincapié sobre las «lluvias continuas». Se presume que hace referencia a 1620, la fecha del documento.	
1619		NIÑO	M	3	F	4	M?					
1618		Lluvias en Julio	NIÑO	M	3	F	4	M?	F	Posible EN		
1617												
1616												
1615												
1614	Inundaciones cerca de Lima	Pueden ser lluvias de la sierra.	NIÑO	F	3	F	5	No EN?	F			
1613												
1612												
1611												
1610												
1609												
1608		Falta información.	NIÑO	F	3	F	5	M?				
1607		Puede ser un año seco.	NIÑO	F	3	F	5	M?	F			
1606												
1605												
1604			NIÑO	F	3	M+	3	No EN				
1603												
1602												
1601			NIÑO	F	3							
1600			NIÑO	F	3	F	3	No EN				
1599												

1598												
1597												
1596		Niño Fuerte	NIÑO	M	2	M+	2	S		Posible EN	Garcia-Herrera (2008), se muestra la siguiente frase de (Ocaña, 1605): «gran aguacero en el puerto de Paíta».	
1595												
1594		En duda porque fue en Julio.						En duda porque fue en Julio.		Posible EN	Garcia-Herrera (2008), se muestra la siguiente frase de Lizárraga (1594): «de vez en cuando llueve en estos valles... y en tal abundancia que los ríos abandonan sus cauces y destruyen los valles, pastizales y plantaciones, como sucedió hace 16 años... [1578] ... y hace un año [1593]...».	
1593		Faltan fuentes						M?				
1592		No fue Niño						No EN?				
1591		No fue Niño	NIÑO	F	3	M/F	3	No EN?	F			
1590			NIÑO	F	3	M/F	3	No EN?				
1589			NIÑO	F	3	M/F	3	No EN?				
1588												
1587												
1586												
1585			NIÑO	M	2	M+	2	?				
1584												
1583												
1582			NIÑO	M+	3	M+	3	?				
1581			NIÑO	M+	3	M+	3					
1580												
1579			NIÑO	F	3	MF	5					

1578	Lluvias fuertes	1er fenómeno muy fuerte	NIÑO	F	3	MF	5	MF	MF	Probable EN	Ortlieb (1992): según algunos autores, se dice que la escasa población que permanecía en San Miguel terminó por dejar la ciudad por completo. Según Garcia-Herrera (2008), existen múltiples informes. Algunos se refieren explícitamente a las lluvias y a las anomalías en las cosechas de ese año.
1577											
1576											
1575										Posible EN	Garcia-Herrera (2008): evidencia de inundaciones, carreteras inundadas; aunque la referencia a la no ausencia de peces parece inconsistente con EN.
1574		Niño Moderado	NIÑO	F	2	F	3	M?	F		Ortlieb (1992): En la ciudad de San Miguel de Piura se experimentaron terribles aguaceros, y junto a las bajas condiciones de salubridad, los vecinos la abandonaron y emigraron a Paita.
1573											
1572											
1571											
1570										Posible EN	Garcia-Herrera (2008), las referencias al daño del puente, las formaciones de pantanos no son muy específicas, pero son numerosas, lo que sugiere EN.
1569											
1568		No lo afirma	NIÑO	F+	3	F+	5	No EN?			
1567		No lo afirma	NIÑO	F+	3	F+	5	No EN?	MF		

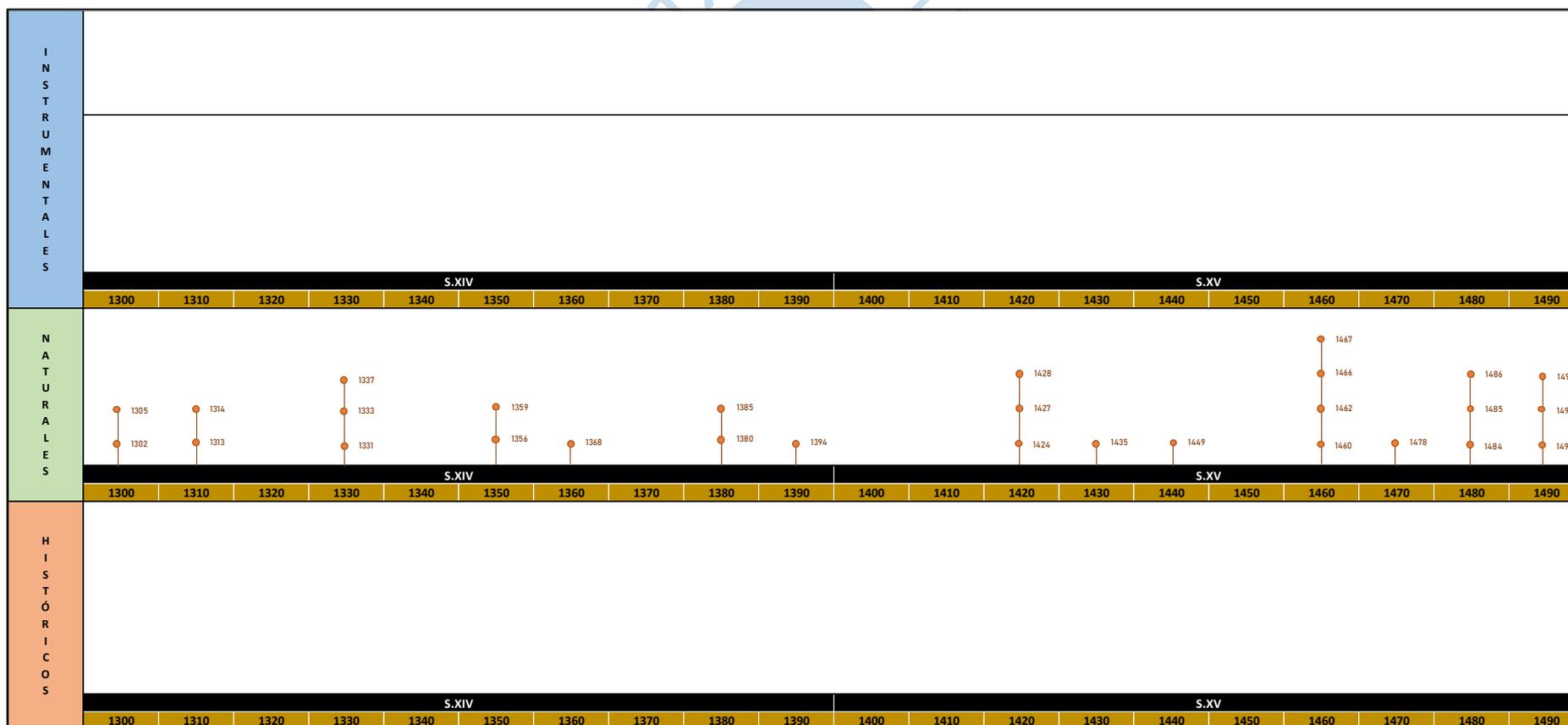
1566												
1565			NIÑO	M+	2	M+	2	No EN?				
1564												
1563												
1562												
1561			NIÑO	F	3	M/F	4	No EN?				
1560			NIÑO	F	3	M/F	4	No EN?				
1559			NIÑO	F	3	M/F	4	No EN?		Posible EN	Garcia-Herrera (2008): las repetidas referencias a ríos en etapa de inundación y puentes dañados sugieren EN.	
1558			NIÑO	F	3	M/F	4	No EN?				
1557												
1556												
1555												
1554												
1553			NIÑO	F	3							
1552		Fue en Julio lo descarta.	NIÑO	F	3	F	3	No EN	F			
1551										Posible EN	Garcia-Herrera (2008): informe de fracaso pesquero es un fuerte indicador local.	
1550												
1549												
1548												
1547			NIÑO	F	2	F	4	M?				
1546			NIÑO	F	2	F	4	M?				
1545												
1544			NIÑO	M+	3	M+	4	?				
1543												
1542												
1541	Inundaciones en Lima	Duda de si es un evento fuerte.	NIÑO	F	2	M/F	3					

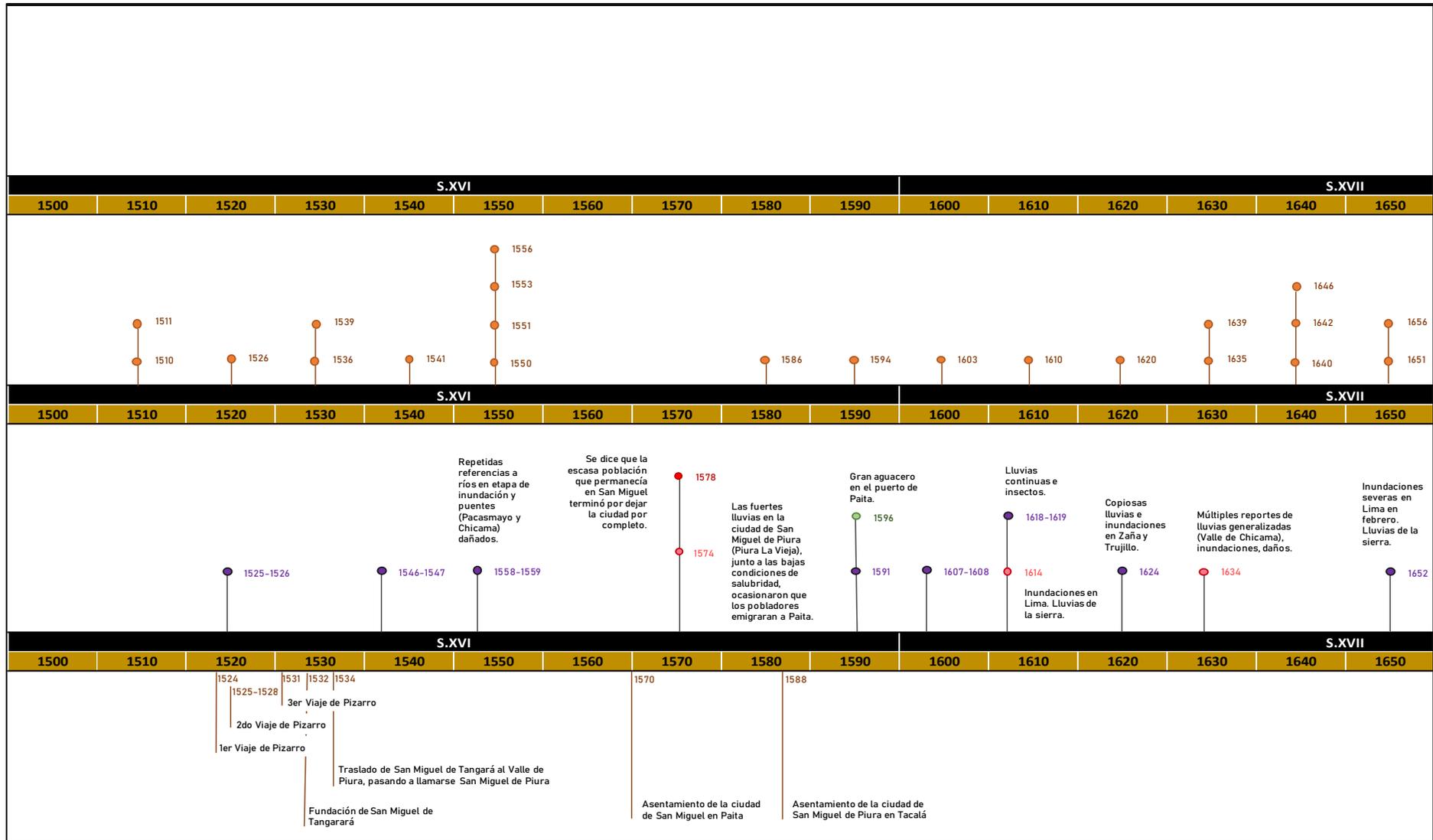
1540		Duda de si es un evento fuerte.	NIÑO	F	2	M/F	3	No EN?				
1539		Duda de si es un evento fuerte.	NIÑO	F	2	M/F	3	No EN?	F			
1538												
1537												
1536												
1535			NIÑO	M+	2	M+	2					
1534												
1533												
1532	No Niño	Falta evidencia	NIÑO	M	2	M	2	No EN				
1531		Falta evidencia	NIÑO	M	2	M	2	No EN			Según QNA los vientos rápidos y corrientes favorables permitieron que Pizarro llegara en 13 días de Panamá a San Mateo.	
1530												
1529												
1528												
1527												
1526			NIÑO	M	2	M	2	No EN?				
1525	No Niño	No puede afirmar que es un Evento de El Niño.	NIÑO	M	2	M	2	No EN?	F		En la edición Española de la "Historia de la Conquista del Perú" se describen vientos, tempestades que desfavorecían a los viajeros (Ortlieb 1992).	

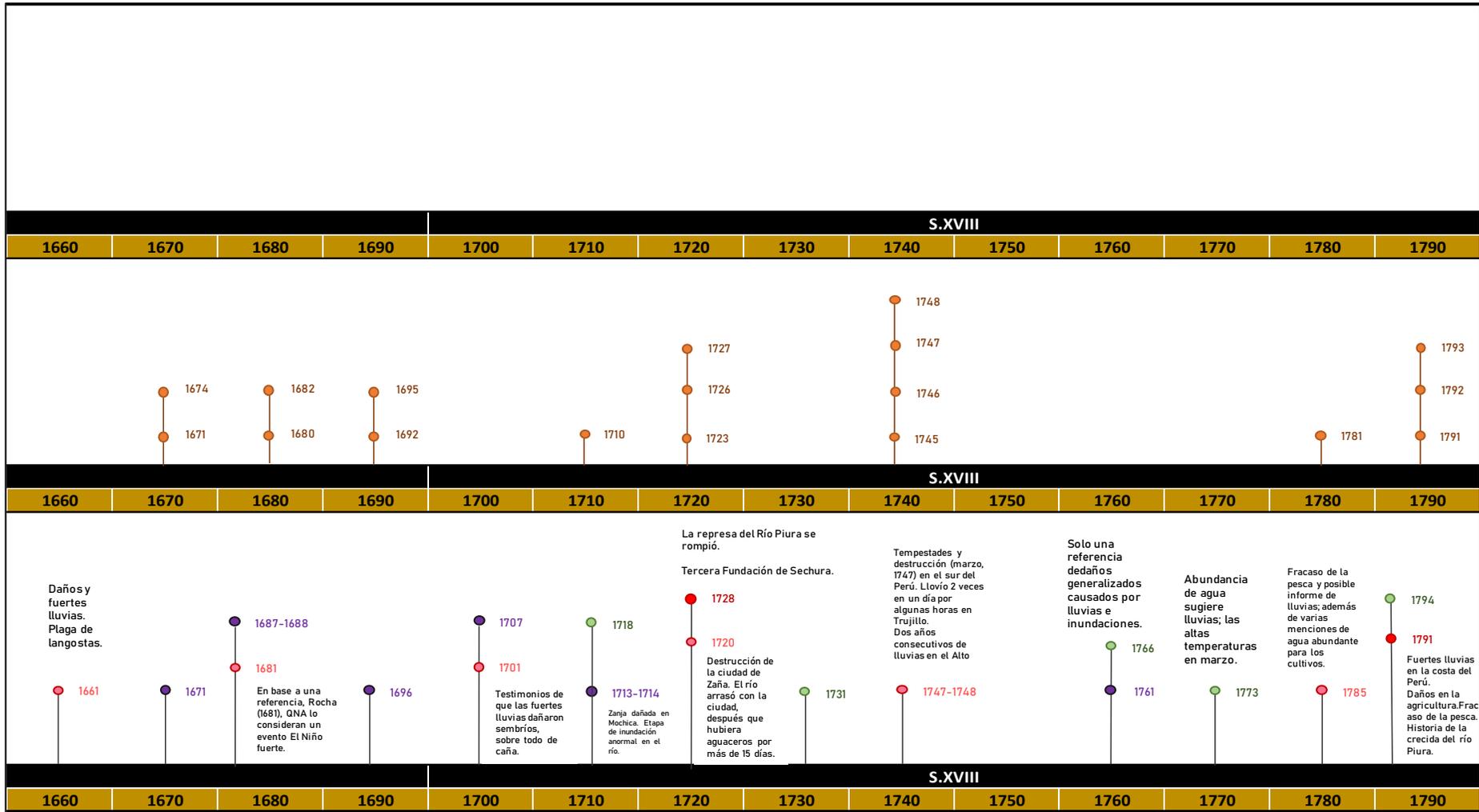


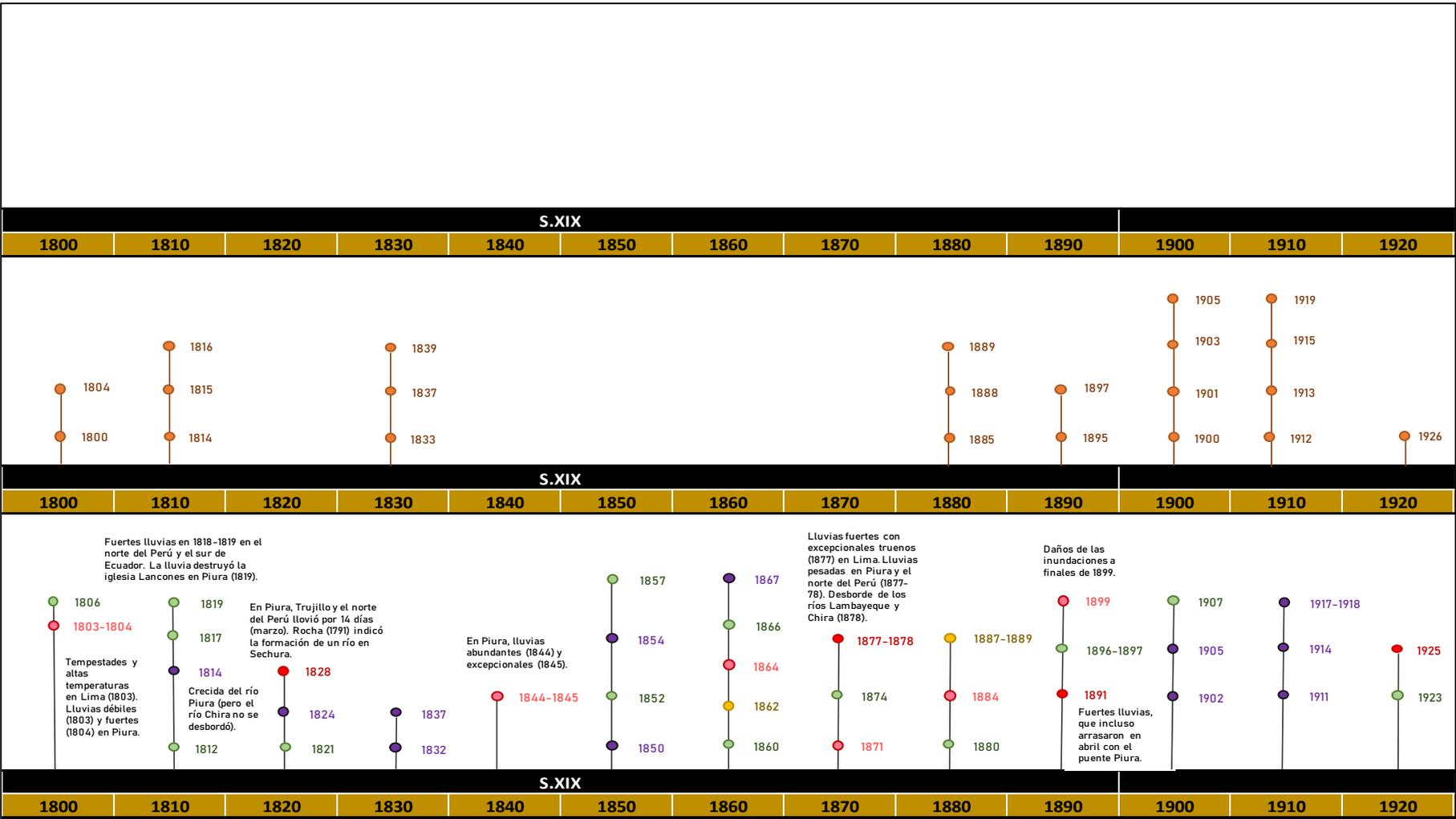
## Apéndice 2. Reconstrucción de posibles eventos FEN adaptado de varios tipos de registros (1300-2019)

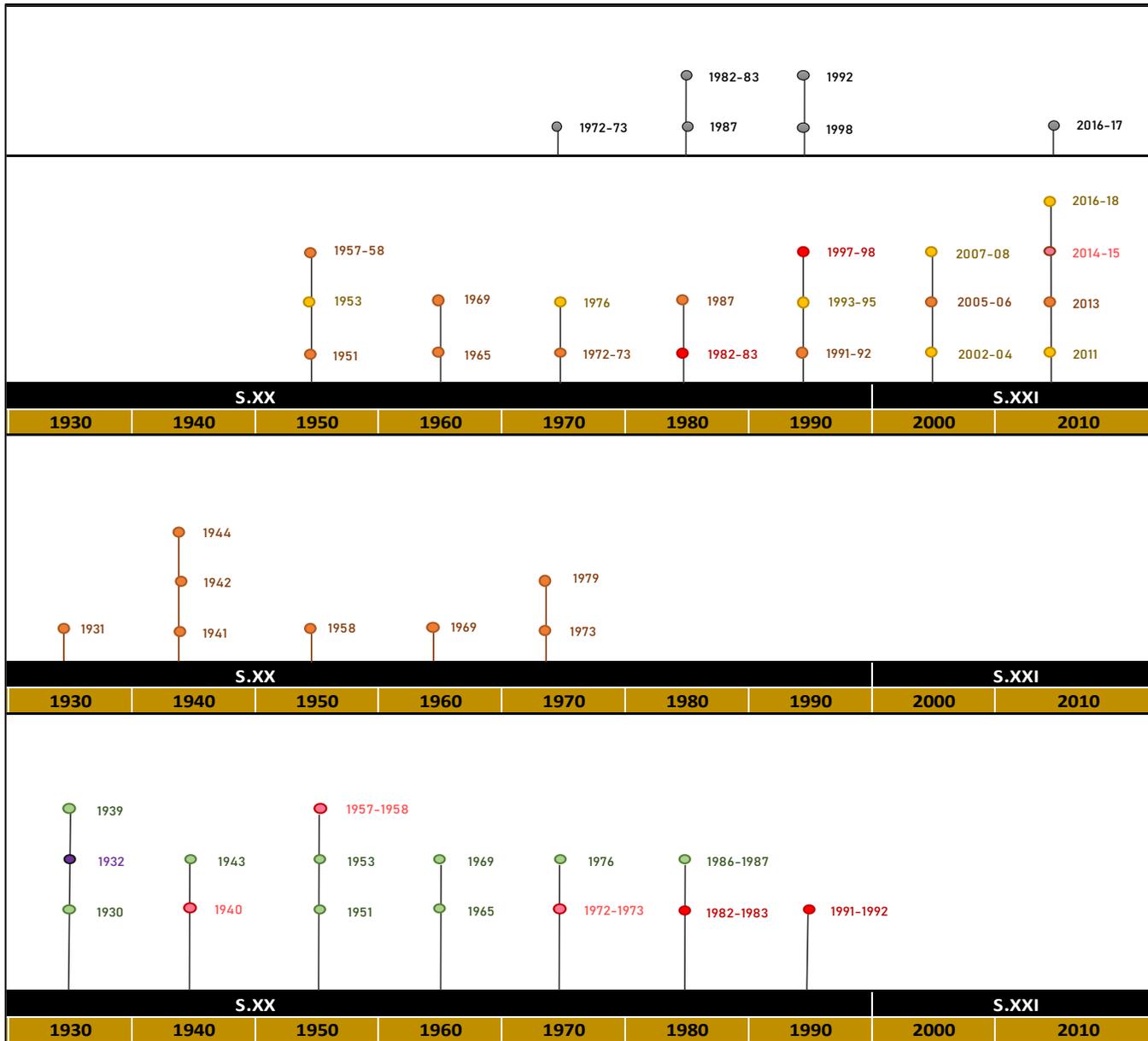
- Débil
- Moderado
- Fuerte
- Extraordinario
- Moderado/Fuerte
- Posible evento Niño













#### Apéndice 4. Correlaciones de las variables meteorológicas.

##### Correlación Precipitación

	Bernal	Chusis	Miraflores	San Miguel	UDEP	La Esperanza	Mallares	Cerritos
Bernal	1	0.9659982	0.9559889	0.9092099	0.9610876	0.910987	0.8855174	0.9518834
Chusis	0.9659982	1	0.8727998	0.8555877	0.9130523	0.6985906	0.8194923	0.7384424
Miraflores	0.9559889	0.8727998	1	0.9672402	0.9960935	0.9075248	0.9537672	0.9733514
San Miguel	0.9092099	0.8555877	0.9672402	1	0.9475273	0.9258369	0.9515415	0.8337942
UDEP	0.9610876	0.9130523	0.9960935	0.9475273	1	0.9506314	0.9238623	0.9294392
La Esperanza	0.910987	0.6985906	0.9075248	0.9258369	0.9506314	1	0.9189146	0.7405502
Mallares	0.8855174	0.8194923	0.9537672	0.9515415	0.9238623	0.9189146	1	0.3727123
Cerritos	0.9518834	0.7384424	0.9733514	0.8337942	0.9294392	0.7405502	0.3727123	1

##### Correlación Temperatura máxima del aire

	Bernal	Chusis	Miraflores	San Miguel	La Esperanza	Mallares	UDEP
Bernal	1	0.9519897	0.9522785	0.948855	0.9003507	0.899947	0.9428059
Chusis	0.9519897	1	0.932659	0.9112902	0.9015789	0.8377511	0.8909674
Miraflores	0.9522785	0.932659	1	0.933014	0.8889616	0.8572405	0.8950498
San Miguel	0.948855	0.9112902	0.933014	1	0.8415531	0.8663327	0.9077915
La Esperanza	0.9003507	0.9015789	0.8889616	0.8415531	1	0.7890555	0.8241591
Mallares	0.899947	0.8377511	0.8572405	0.8663327	0.7890555	1	0.8324121
UDEP	0.9428059	0.8909674	0.8950498	0.9077915	0.8241591	0.8324121	1

##### Correlación Temperatura mínima del aire

	Bernal	Chusis	Miraflores	San Miguel	La Esperanza	Mallares	UDEP
Bernal	1	0.9578776	0.9393583	0.9476678	0.9248009	0.9096818	0.9326392
Chusis	0.9578776	1	0.9243502	0.9461397	0.9155521	0.9238388	0.8895752
Miraflores	0.9393583	0.9243502	1	0.9514964	0.9230034	0.9586175	0.8104586
San Miguel	0.9476678	0.9461397	0.9514964	1	0.9397342	0.945899	0.8698367
La Esperanza	0.9248009	0.9155521	0.9230034	0.9397342	1	0.9241357	0.8859823
Mallares	0.9096818	0.9238388	0.9586175	0.945899	0.9241357	1	0.8334996
UDEP	0.9326392	0.8895752	0.8104586	0.8698367	0.8859823	0.8334996	1

##### Correlación Temperatura media del aire

	Bernal	Chusis	Miraflores	San Miguel	La Esperanza	Mallares	UDEP
Bernal	1	0.9902906	0.9911746	0.9910923	0.9653121	0.9767004	0.9712443
Chusis	0.9902906	1	0.9829132	0.9748703	0.9737925	0.9650326	0.9727177
Miraflores	0.9911746	0.9829132	1	0.9884669	0.9614137	0.9744683	0.9769146
San Miguel	0.9910923	0.9748703	0.9884669	1	0.9485773	0.9702458	0.9544099
La Esperanza	0.9653121	0.9737925	0.9614137	0.9485773	1	0.9479175	0.9660799
Mallares	0.9767004	0.9650326	0.9744683	0.9702458	0.9479175	1	0.9437362
UDEP	0.9712443	0.9727177	0.9769146	0.9544099	0.9660799	0.9437362	1

**Apéndice 5. Instalación de la estación Bayóvar.**

Figura1. Disposición final de los sensores y el datalogger de la estación NRG instalada en el campamento Bayóvar de Petroperú



Figura. Ensamblaje del cable sensor de temperatura

## Apéndice 6. Instalación de la estación Cerritos.

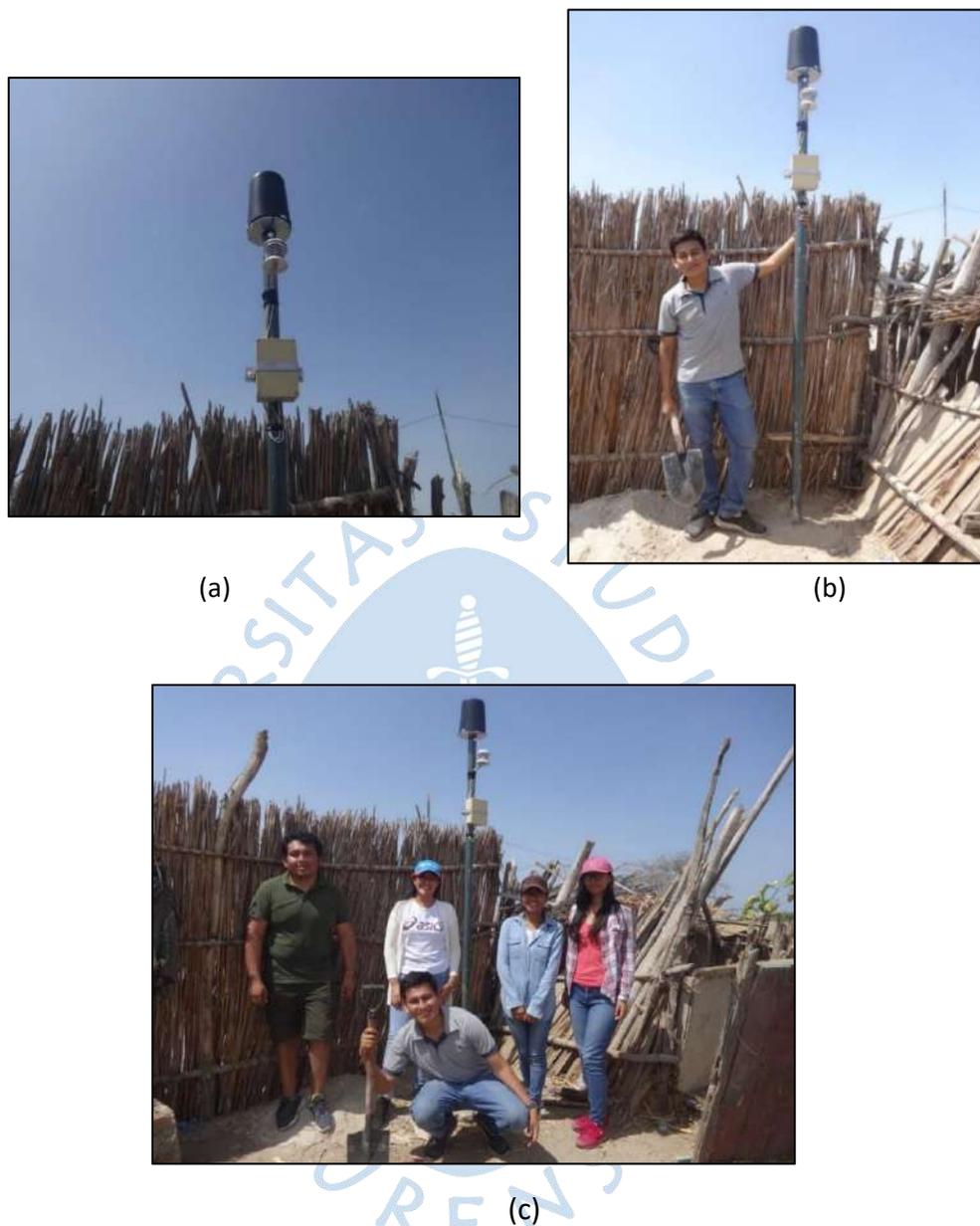


Figura 1. Instalación estación Cerritos.

(a)Y (b) Disposición final del pluviómetro, del termo-higrómetro y de la caja de los registradores de datos fijados al poste metálico de la estación meteorológica instalada en el caserío Cerritos, Sechura, el sábado 05 de abril 2014. En la foto inferior Jefferson (c) Posando al pie de la estación meteorológica de Cerritos, Oliver Calle, Ivonne Chunga, Nohelia Palacios, Isabella Zapata y Jefferson Llacsahuanga (Foto: Rodolfo Rodríguez, Cerritos 28 de febrero de 2020)

### Agradecimientos:

A la señora Alicia Nunura, pobladora del caserío Cerritos, por permitirnos reinstalar esta estación meteorológica en el corral de su casa.

Al Señor Oliver Calle por su apoyo en el transporte de los equipos desde la ciudad de Piura hasta el caserío Cerritos.

## **Apéndice 7. Informe de Visita a Campo- Sechura**

### **Objetivo General**

Entrevistar a agricultores de Bellavista de la Unión para recopilar información sobre cómo les afecta el clima a sus cultivos.

### **Ubicación**

El distrito de Bellavista de la Unión es uno de los seis que conforman la provincia de Sechura ubicada en el departamento de Piura en el Norte del Perú. Se encuentra en la parte baja del valle del Rio Piura, conocido como Bajo Piura a 05° 26' 19" latitud sur y 80° 45' 08" longitud Oeste del meridiano de Greenwich, a una altura de 13 m.s.n.m. y está situado a 36 km al sur de la ciudad de Piura y a 17 km de la capital Provincial de Sechura.

### **Equipo**

- Ing. Rodolfo Rodríguez Arismendiz
- Ing. Raúl Ramos Chunga
- Bach. Nohelia Palacios Saavedra
- Bach. Isabella Zapata Gallo

### **Descripción**

El día 30 de febrero del 2022 se entrevistó al Ing. Raúl Ramos Chunga, exalumno de la Universidad de Piura del programa académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Él y su familia poseen terrenos en Bellavista de la Unión, los cuales son destinados al cultivo de distintos productos.

También se entrevistó al señor Ricardo Ayala quien se dedica a la agricultura y en cuyos terrenos se encontraba cultivando principalmente arroz.

Por último, se entrevistó al señor John Timaná, también dedicado a la agricultura, pero los productos que cultiva son alternativos como pepinillo, melón, sandía, zapallo macre, ají escabeche, pimiento, etc, diferente a los cultivos tradicionales como el arroz, maíz y algodón.



Figura 1. Entrevistados junto a las tesis

A continuación, se presentará la información obtenida de las entrevistas:

- **Algodón:**

El algodón es uno de los cultivos tradicionales que se cosecha en el bajo Piura, en la zona de Sullana y en el medio Piura.

Después de las lluvias del Fenómeno El Niño de 1983, se vino una plaga incontrolable en los campos de cultivos. Las plantaciones de algodón como las ubicadas en Sechura fueron infestadas por la plaga del gusano rosado, una plaga que se metía en la semilla del algodón y malograba su calidad, lo cual ocasionó grandes pérdidas.

Adicional a esto, se produjo una caída del precio internacional del algodón en los años posteriores y en la zona norte del Perú, la situación económica de la empresa Textil Piura, uno de los grandes compradores del algodón PIMA, fue decayendo a lo largo de los años, lo cual acentuó a la crisis del algodón en Piura y Sechura.

Todo esto generó que, incluso hasta el día de hoy, el algodón sea visto por los agricultores como un producto poco rentable. El algodón es vendido por peso y como en muchas ocasiones las ganancias no compensan los gastos, se dejó de cosechar como antes. Por ello, se empezó a plantar otros cultivos más rentables como el arroz, que, aunque no se llegue a vender, al menos se puede emplear para consumo propio.

El algodón es un cultivo muy sensible al agua. Cuando hay abundancia de esta, el algodón se “envicia” y no “carga”; es decir, la planta crece muy grande y se enverdece; pero baja su rendimiento.

Otra cosa que desanima a los agricultores es el precio, son muy bajos, que no compensan los gastos.



Figura 2. Cultivo de algodón

- **Arroz:**

El arroz es el principal cultivo sembrado en Sechura, y es la Junta de Regantes quien decide qué sectores deben cultivarlo. Su sistema de riego es por inundación.

Esta misma junta también decide qué cultivo va a sembrar cada sector y reparte por turnos el agua para regar estos productos. La junta sectoriza para pan llevar, como maíz, caupí u otro cultivo que no necesita mucha agua, y para arroz. Es importante recalcar que donde se cultiva arroz, no se puede cultivar otro producto, ya que puede perderse porque la filtración va caminando y los cultivos de poca agua no les conviene.

En el año 2017 se inundaron los campos las zonas agrícolas de Sechura, y causaron grandes pérdidas. Según el agricultor entrevistado, les conviene más que llueva en la sierra de Piura y la zona de Ecuador para que la represa de Poechos tenga agua suficiente para el riego, en vez de que llueva en la zona, debido a que no se tiene control de la cantidad agua que ingresará a sus cultivos.

El nivel de daño ocasionado por las fuertes lluvias de Fenómeno El Niño también depende de la fase en la que se encuentre el cultivo. En el 2017 la inversión ya se había realizado y la cosecha se encontraba a un 70 %, pero debido a las lluvias todo se perdió; sin embargo, en 1998 no se mostraron tantas pérdidas económicas, debido a que la cosecha de arroz estaba en sus inicios, y los agricultores no invirtieron todo su dinero en la cosecha.

Los agricultores piden prestado de forma individual a los bancos para realizar su cosecha, y si hay alguna pérdida por factores climáticos como el FEN, quedan con deudas, lo cual no les permite recuperar rápidamente su inversión.

La perspectiva de los agricultores es que las lluvias limpian y vuelve más fértil el suelo de sus campos, pero les da más trabajo. Después de las lluvias, crece la maleza y genera más gastos quitarlas del terreno para poder cosechar. Además, trae consigo plagas.

La temperatura ideal para la cosecha de arroz es en el verano, ya que con temperaturas bajas en arroz se “envana”, por eso lo ideal es iniciar a sembrar en los meses de diciembre a febrero. Conviene un clima templado, ni tan frío ni tan caliente. Si las temperaturas son muy altas, el cultivo se “tropicaliza”. La planta crece, pero no ayuda a que el rendimiento del fruto sea mayor.

La asistencia técnica también influye en la agricultura, ya que los agricultores no tienen conocimiento de qué hacer frente a plagas y otros tipos de riego.

El arroz del valle de Sechura se vende a Piura, Sullana, Chiclayo. La variedad sembrada es Pompeyo, resistente a las plagas. Variedad tinajones no soporta el frío, es así como cada variedad tiene distintas características.

Lo que más evalúan los compradores es cantidad que calidad, por lo que ellos miden una buena inversión con datos de rendimiento por hectárea. Una cantidad de 15,000 Kg por hectárea rinde la variedad Pompeyo.

También depende de cómo lo manejes. Puedes tener un buen rendimiento 240 sacos por hectáreas y obtener 15,000 soles por hectárea, una buena utilidad (precio actual entre 60 y 65 soles/saco). Cuando el rendimiento es bajo, al menos se tiene para recuperar su inversión.



Figura 3. Campos de cultivo de arroz Zona Liberato – Rinconada

- **Cultivos Alternativos:**

Aquellos agricultores que no son designados para la cosecha de arroz escogen qué producto sembrar. Entre los productos alternativos para la siembra se encuentra el maíz, pepinillo, pimienta, caupí, entre otros.

Los cultivos alternativos suelen ser elegidos porque son cultivos rápidos y de buen rendimiento. Casi al mes y medio se obtienen sus frutos, a diferencia del arroz, maíz y algodón. En medio año dan dos siembras, a diferencia de los otros que solo son una siembra.

Además, son cultivos de agua, por lo que no los afecta mucho, aunque son más sensibles al calor, pero sus hojas los protegen.

Lluvias muy fuertes como las del FEN afectan a todas las plantas, incluso a estos cultivos, ya que no se tenía donde desaguar y eso termina por matar a la planta. Si bien el terreno no se malogra, hay pérdidas económicas.

Información adicional sobre los meses de cosecha de algunos cultivos:

- Maíz es mejor en el tiempo de frío y está a los cuatro-cinco meses.
- El pepinillo se siembra y se está cosechando al mes y medio.
- El pimiento a los tres meses.
- El zapallo macre a los tres meses y medio.
- Sandía a los dos meses y medio, y el melón también.
- El pepinillo es el más sensible de los cultivos.



Figura 4. Cultivo de maíz amarillo duro



Figura 5. Cultivo de pepinillos



Figura 6. Cultivo de ají (izquierda), cultivo de frejol de palo (centro) y cultivo de guanábana (derecha)



Figura 7. Otros cultivos

## Anexos

### Anexo 1. ICEN mensual 1994-2020

Índice Costero El Niño (ICEN). Fuente de datos ERSSTv3  
Eventos El Niño y La Niña

Año	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE
1994	-0.17	-0.37	-0.7	-0.92	-0.93	-0.83	-0.82	-0.64	-0.09	0.35	0.67	0.66
1995	0.56	0.17	-0.52	-0.92	-1	-0.75	-0.62	-0.53	-0.53	-0.43	-0.63	-0.73
1996	-0.82	-0.56	-0.81	-1.05	-1.45	-1.33	-1.18	-0.86	-0.67	-0.73	-1.02	-1.12
1997	-0.78	-0.12	0.59	1.38	2.18	3.01	3.51	3.76	3.7	3.76	3.84	3.84
1998	3.4	2.96	2.76	2.84	2.63	2.23	1.64	1.08	0.59	0.13	-0.09	-0.29
1999	-0.35	-0.29	-0.5	-0.63	-0.95	-0.8	-0.68	-0.62	-0.66	-0.91	-0.85	-0.82
2000	-0.67	-0.75	-0.55	-0.35	-0.13	-0.27	-0.56	-0.59	-0.52	-0.56	-0.8	-0.84
2001	-0.46	-0.02	0.26	0.11	-0.14	-0.44	-0.58	-0.84	-1.02	-1.12	-1.16	-1.01
2002	-0.59	0.14	0.61	0.86	0.63	0.24	0.03	0.14	0.47	0.74	0.9	0.8
2003	0.51	0.3	0.12	-0.32	-0.77	-0.86	-0.42	-0.15	0.17	0.29	0.53	0.5
2004	0.45	0.13	-0.12	-0.57	-0.62	-0.75	-0.52	-0.36	0	0.46	0.6	0.45
2005	-0.24	-0.79	-0.9	-0.59	-0.33	-0.32	-0.49	-0.63	-0.94	-1.13	-1.11	-0.65
2006	-0.11	0.07	-0.4	-0.73	-0.72	-0.21	0.25	0.69	1.03	1.03	1.06	1.02
2007	0.99	0.58	-0.01	-0.7	-1.16	-1.26	-1.18	-1.04	-1.36	-1.64	-1.92	-1.44
2008	-0.68	0.08	0.25	0.16	0.06	0.39	0.73	0.93	0.65	0.21	-0.13	-0.29
2009	-0.39	-0.63	-0.46	-0.09	0.59	0.88	1.02	0.88	0.66	0.4	0.27	0.13
2010	0.09	0.03	0.17	0.27	0.31	-0.12	-0.77	-1.36	-1.56	-1.48	-1.27	-1
2011	-0.58	-0.54	-0.44	-0.41	-0.12	-0.07	-0.08	-0.37	-0.71	-0.97	-1.02	-0.79
2012	-0.4	-0.02	0.41	0.66	1.13	1.07	0.71	0.28	-0.08	-0.27	-0.69	-0.73
2013	-0.67	-0.56	-0.79	-1.03	-1.44	-1.62	-1.64	-1.33	-0.98	-0.68	-0.51	-0.3
2014	-0.49	-0.54	-0.64	-0.15	0.47	1.03	1.19	1.02	0.69	0.52	0.38	0.35
2015	0.08	0.01	0.18	0.68	1.36	1.96	2.15	2.15	2.07	2.23	2.18	2.07
2016	1.77	1.49	1.07	0.77	0.54	0.43	0.29	0.17	0.14	0.22	0.37	0.43
2017	0.6	0.93	1.11	0.91	0.39	-0.11	-0.49	-0.75	-0.98	-1.17	-1.54	-1.7
2018	-1.71	-1.7	-1.48	-1.17	-0.8	-0.6	-0.57	-0.35	-0.18	0.16	0.54	0.81
2019	0.65	0.34	0.25	0.38	0.28	-0.21	-0.62	-0.86	-1.03	-0.87	-0.78	-0.58
2020	-0.58											

Fuente: ENFEN (2021).

