UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

TESIS DOCTORAL

ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LOS BIOINDICADORES LIQUÉNICOS Y LA DEGRADACIÓN DE LOS MISMOS

MÓNICA Mª VÁSQUEZ FENTANES

Las Palmas de Gran Canaria, 2015

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA
Departamento de Ingeniería de Procesos
35017 LAS PALMAS DE G.C.
Teléfono: 928 45 18 76
Fax: 928 45 89 75

D. ANTONIO NIZARDO BENÍTEZ VEGA, EN CALIDAD DE SECRETARIO DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA,

CERTIFICA

Que la Comisión de Doctores del Departamento de Ingeniería de Procesos, en su sesión de fecha 25/03/2015, tomó el acuerdo de dar el consentimiento para su tramitación, a la Tesis Doctoral titulada "Estudio de los efectos de la contaminación atmosférica sobre los bioindicadores liquénicos y la degradación de los mismos", presentada por la Doctorando Dña. Mónica María Vasquez Fentanes y dirigida por el Dr. D. Juan Emilio González González y la Dra. Dña. Jenifer Vaswani Reboso.

Y para que así conste a efectos de lo previsto en el Art. 5.2 del Reglamento para la elaboración, tribunal, defensa y evaluación de tesis doctorales de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, firmo la presente en Las Palmas de Gran Canaria, a veinticinco de marzo de dos mil quince.

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

Departamento/Instituto/Facultad: INGENIERIA DE PROCESOS

Programa de doctorado: INGENIERIA AMBIENTAL Y DESALINIZACIÓN

Título de la Tesis

ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LOS BIOINDICADORES LIQUÉNICOS Y LA DEGRADACIÓN DE LOS MISMOS

Tesis Doctoral presentada por Dª MÓNICA Mª VÁSQUEZ FENTANES

Dirigida por el Dr. D. JUAN EMILIO GONZÁLEZ GONZÁLEZ
Codirigida por la Dra. Dña. JENIFER VASWANI REBOSO

El Director, **La Codirectora** **La Doctoranda,**

Las Palmas de Gran Canaria, a 10 de Febrero de 2015

Agradecimientos

Mi más profundo agradecimiento a las siguientes personas e instituciones que proporcionaron su inapreciable ayuda en la realización de la presente Tesis Doctoral:

A mis directores de Tesis, Dr. D. Juan Emilio González Gónzalez y Dra. Dña. Jenifer Vaswani Reboso, por sus inapreciables contribuciones, correcciones, apoyo académico y ánimo, durante todo el proceso de elaboración de la misma.

A todos los integrantes y compañeros del grupo CAFMA, que durante estos años, han cooperado de manera desinteresada y entusiasta. Además, por todos los grandes momentos de compañerismo que hemos vivido. Agradezco especialmente a su Director, Dr. D. Juan Emilio González González, el permitirme acceder plenamente a las instalaciones y recursos del mismo.

A UNELCO por la aportación de los datos de las cabinas de inmision que han permitido obtener valiosa información que enriquece los datos experimentales obtenidos.

A la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, en especial a todos mis profesores de Doctorado del Departamento de Ingeniería de Procesos, por los conocimientos, habilidades y actitudes que me han permitido adquiirir.

A mi familia y amigos que conforman la red de apoyo, amor, cariño y respeto que me sustenta en los malos momentos, me alienta a seguir adelante y celebra conmigo las alegrías. Los quiero.

Dedicado a :

Los amigos de esta tierra, mi familia adoptiva.

Mi padre, ejemplo de constancia académica

Paco García ...sin tí, nunca hubiera sido posible.

Mamá...promesa cumplida

INDICE

Capítulo I: Antecedentes..... 17

1. Introducción..... 21
1.1. Objetivos..... 23
1.1.1. Objetivo General..... 23
1.1..2. Objetivos Específicos..... 23
1. 2. Bioindicadores Liquénicos..... 24
1. 3. Contaminación Atmosférica..... 25
1. 3. 1. Contaminantes Atmosféricos..... 26
1. 3. 2. Contaminantes primarios..... 29
1. 3. 2. 1. Partículas o Aerosoles..... 29
1. 3. 2. 2. Óxidos de azufre (SO_x)..... 30
1. 3. 2. 3. Monóxido de carbono (CO)..... 31
1. 3. 2. 4. Óxidos de nitrógeno (NO_x)..... 32
1. 3. 2. 5. Hidrocarburos (HC)..... 33
1. 3. 2. 6. Ozono (O_3)..... 33
1. 3. 2. 7. Anhídrido carbónico (CO_2)..... 34
1. 3. 2. 8. Compuestos halogenados..... 34
1. 3. 2. 9. Metales Pesados..... 34
1. 3. 3. Contaminantes secundarios..... 35
1. 3. 3. 1. Contaminación fotoquímica..... 35
1. 3. 3. 2. Acidificación del medio ambiental (lluvias ácidas)..... 37
1. 3. 3. 3. Ruptura de la capa de ozono..... 38
1. 4. La Calidad del aire..... 39
1. 4. 1. Inmisiones..... 39
1.4.2. Emisiones..... 41
1. 5. Correlación entre las Inmisiones y las Emisiones de Contaminantes..... 43
1.5.1. Influencia de los procesos meteorológicos en contaminación atmosférica.. 44
1. 6. Efectos producidos por la contaminación atmosférica..... 45

1. 6. 1. Efectos sobre la salud humana..... 45
1. 6. 2. Efectos sobre la vegetación..... 54
1. 6. 3. Efectos sobre los materiales. 55
1. 6. 4. Efectos sobre la visibilidad..... 57
1. 6. 5. Efectos globales…….. 58
1. 7. La Lucha Contra la Contaminación Atmosférica..... 60
1. 7. 1. Acciones para combatir la contaminación atmosférica..... 62
1. 7. 1. 1. Acciones correctivas..... 62
1. 7.1. 2. Acciones preventivas..... 63
1. 7. 2. Programas de vigilancia..... 63
1. 7. 2. 1. Procedimientos fisicoquímicos..... 64
1. 7. 2. 2. Indicadores biológicos..... 64

Capítulo II: Bioindicación..... 67

2. Bioindicación..... 71
2. 1. Generalidades..... 71
2. 1. 1. Tipos de indicadores biológicos y bioquímicos..... 73
2. 1. 2. Contaminantes detectados..... 73
2. 2. Criterios de selección..... 74
2. 3. Ventajas de la bioindicación..... 75
2.4. Líquenes..... 76
2. 4. 1. Generalidades..... 76
2. 4. 2. Teorías de la simbiosis..... 77
2. 4. 2. 1. Simbiosis mutualista..... 78
2. 4. 2 .2. Simbiosis antagonista..... 78
2. 4. 2. 2. 1. Helotismo..... 80
2. 4. 2. 2. 2. Parasitismo..... 80
2. 4. 2. 2. 3. Endosaprofitismo..... 80
2. 4. 2. 2. 4. Algoparasitismo..... 81
2.4.3. Simbiontes..... 81

2. 4. 3. 1. Hongos (micobiontes)..... 81
2. 4. 3. 2. Algas (fotobiontes)..... 82
2. 4. 4. Talos..... 83
2. 4. 4. 1. Tipos morfológicos..... 84
2. 4. 4. 2. Elementos de fijación..... 85
2. 4. 4. 3. Elementos de aireación..... 85
2. 4. 4. 4. Estructuras reproductivas..... 86
2. 4. 4. 5. Velocidad de crecimiento y duración..... 88
2. 4. 5. Nutrición..... 89
2. 4. 5. 1. Agua..... 89
2. 4. 5. 1. 1. Absorción del agua..... 90
2. 4. 6. Nutrición Carbonada e Intercambios Gaseosos..... 90
2. 4. 6. 1. Respiración..... 90
2. 4. 6. 2. Asimilación..... 91
2. 4. 7. Nutrición mineral..... 92
2. 4. 8. Relaciones alimentarias entre simbiontes..... 93
2. 4. 9. Hábitat..... 95
2. 4. 10. Distribución..... 96
2. 4. 11. Usos e importancia económica..... 96
2. 5. Bioindicadores liquénicos..... 97
2. 5. 1. Mecanismos de acumulación..... 100
2. 5. 2. Efectos de la contaminación sobre los líquenes..... 100
2. 5. 2. 1. Efectos del Dióxido de Azufre..... 101
2. 5. 2. 2. Efectos del Óxido de Nitrógeno..... 102
2. 5. 2. 3. Efectos de las Toxinas Fotoquímicas..... 103
2. 5. 2. 4. Efectos de Contaminantes Metálicos..... 104
2. 5. 2. 5. Efectos de los Fluoruros..... 105

Capitulo III: Área de Estudio..... 107

3. Isla de Gran Canaria..... 111
3. 1. Medio físico..... 112
3. 2. Topografía..... 113

3. 3. Clima..... 113
3. 4. Flora..... 114
3. 5. Espacios Naturales protegidos..... 115
3. 6. Agricultura..... 117
3. 7. Industria..... 118
3.8. Transportes..... .. 120
3. 8. 1. Aeropuerto..... 120
3. 9. Justificación de la Selección del Área de Estudio..... 122
3. 9. 1. Zonas conflictivas..... 125
3. 10. Normativa..... 128
3. 11. Selección del área de Estudio..... 132
3. 11. 1. Barranco de Tirajana..... 132
3. 11. 2. Localidades de muestreo, inventarios y especies a estudio..... 135
3. 11. 2. 1. Estación Nº 1: Pico Tabaibas..... 139
3. 11. 2. 2. Estación Nº 2: Montaña Carboneras..... 139
3. 11. 2. 3. Estación Nº 3: Santa Lucía..... 140
3. 11. 2. 4. Estación Nº 4: Montaña Arinaga..... 140
3. 11. 2. 5. Estación Nº 5: Montaña Agüimes..... 141
3. 11. 2 .6. Estación Nº 6: Ingenio-Pasadilla..... 141
3. 11. 2. 7. Estación Nº 7: Cruz Grande..... 142
3. 11. 2. 8. Estación Nº 8: Gitagana..... 142
3. 11. 2. 9. Estación Nº 9: Aldea Blanca..... 143
3. 11. 2. 10. Estación Nº 10: Pico de las Nieves..... 143
3. 11. 2. 11. Estación Nº 11: Ingenio-Cazadores..... 144
3. 11. 2. 12. Estación Nº 12: Temisas..... 144
3.12. Ubicaciones de las Estaciones de Muestreo..... 145
3. 12. 1. Estación Nº 1: Pico Tabaibas..... 145
3. 12. 2. Estación Nº 2: Montaña Carboneras..... 146
3. 12. 3. Estación Nº 3: Santa Lucía..... 147
3. 12. 4. Estación Nº 4: Montaña Arinaga..... 148
3. 12. 5. Estación Nº 5: Montaña Agüimes..... 149
3. 12 .6. Estación Nº 6: Ingenio-Pasadilla..... 150
3. 12. 7. Estación Nº 7: Cruz Grande..... 151

3. 12. 8. Estación Nº 8: Gitagana..... 152
3. 12. 9. Estación Nº 9: Aldea Blanca..... 153
3. 12. 10. Estación Nº 10: Pico de las Nieves..... 154
3. 12. 11. Estación Nº 11: Ingenio-Cazadores..... 155
3. 12. 12. Estación Nº 12: Temisas..... 156
3. 13. Especies de Líquenes estudiadas..... 157

Capítulo IV: Contaminantes..... 159

4. Contaminantes Estudiados..... 163
4. 1. Metales..... 163
4. 1. 1. Arsénico..... 163
4. 1. 2. Cadmio..... 164
4. 1. 3. Cobre..... 166
4. 1. 4. Cromo..... 166
4. 1. 5. Mercurio..... 167
4. 1. 6. Níquel..... 168
4. 1. 7. Plomo..... 169
4. 1. 8. Vanadio..... 170
4. 2. Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP´s)..... 171
4. 3. Pesticidas..... 173
4.3.1. Pesticidas Organofosforados..... 173
4.3.2. Pesticidas Organoclorados..... 175
4. 4. PCB´s..... 177

Capítulo V: Metodología..... 181

5. 1. Parte Experimental..... 185
5. 2. Fundamentos y Equipo Utilizado..... 186
5. 2. 1. Clorofila y Feofitina..... 186
5. 2. 2. Nitrógeno y Azufre..... 187
5. 2. 2. 1. Analizador elemental..... 187
5.2.3. Metales..... 190

5. 2. 3. 1 . Absorción atómica..... 190
5. 2. 3. 1. 1. Cámara de Grafito..... 190
5. 2. 3. 1. 2. Atomización con Llama..... 191
5. 2. 4. HAP´s, Pesticidas y PCB´s..... 196
5. 2. 4. 1. Cromatografía de Gases Masa..... 196
5. 3. Metodología de campo..... 198
5. 3. 1. Recubrimiento y vitalidad..... 198
5. 3. 1. 1. Criterios para líquenes sobre rocas..... 200
5. 3. 1. 2. Criterios para líquenes sobre árboles..... 201
5. 4. Comparación entre Líquenes de Géneros Diferentes..... 202

Capítulo VI: Resultados y Discusiones 205

6. Resultados y Discusiones..... 209
6. 1. Resultados del Estudio Fotográfico..... 210
6. 2. Medidas de Humedad Relativa..... 231
6. 3. Rosa de los Vientos..... 233
6.4. Resultado del Estudio Químico..... 235
6.4.1. Azufre..... 238
6.4.1.1. Distribución de los valores medios de concentración..... 238
6.4.1.2. Comparación de los valores medios de concentración..... 240
6.4.2. Nitrógeno..... 246
6.4.2.1. Distribución de los valores medios de concentración..... 246
6.4.2.2. Comparación de los valores medios de concentración..... 248
6.4.3. Clorofila..... 252
6.4.3.1. Distribución de los valores medios de concentración..... 252
6.4.3.2. Comparación de los valores medios de concentración..... 254
6.4.4. Feofitina..... 258
6.4.4.1. Distribución de los valores medios de concentración..... 258
6.4.4.2. Comparación de los valores medios de concentración..... 260
6.4.5. Arsénico..... 264
6.4.5.1. Distribución de los valores medios de concentración..... 264
6.4.5.2. Comparación de los valores medios de concentración..... 266

6.4.6. Cadmio..... 276
6.4.6.1. Distribución de los valores medios de concentración..... 276
6.4.6.2. Comparación de los valores medios de concentración..... 278
6.4.7. Cobre..... 283
6.4.7.1. Distribución de los valores medios de concentración..... 283
6.4.7.2. Comparación de los valores medios de concentración..... 285
6.4.8. Cromo..... 290
6.4.8.1. Distribución de los valores medios de concentración..... 290
6.4.8.2. Comparación de los valores medios de concentración..... 292
6.4.9. Mercurio..... 297
6.4.9.1. Distribución de los valores medios de concentración..... 297
6.4.9.2. Comparación de los valores medios de concentración..... 299
6.4.10. Níquel..... 305
6.4.10.1. Distribución de los valores medios de concentración..... 305
6.4.10 .2. Comparación de los valores medios de concentración..... 307
6.4.11. Plomo..... 312
6.4.11.1. Distribución de los valores medios de concentración..... 312
6.4.11 .2. Comparación de los valores medios de concentración..... 314
6.4.12. Vanadio..... 319
6.4.12.1. Distribución de los valores medios de concentración..... 319
6.4.12. 2. Comparación de los valores medios de concentración..... 321
6.4.13. HAP´s, Pesticidas Organoclorados, Pesticidas Organofosforados y PCB´s... 326
6.5. Discusión final..... 342
6.5.1. Aspectos a tomar en cuenta para la discusión final..... 342
6.5.1.1. Orografía..... 342
6.5.1.2. Régimen de Vientos..... 343
6.5.1.3. Distintos focos contaminantes..... 343
6.5.1.4. Bioacumulación de contaminantes atmosféricos..... 343
6.5.2. Distribución de contaminantes..... 344
6.5.2.1. Azufre Bioacumulado..... 345
6.5.2.2. Nitrógeno Bioacumulado..... 346
6.5.2.3. Clorofila..... 347

6.5.2.4. Feofitina..... 348
6.5.2.5. Arsénico Bioacumulado..... 349
6.5.2.6. Cadmio Bioacumulado..... 350
6.5.2.7. Cobre Bioacumulado..... 351
6.5.2.8. Cromo Bioacumulado..... 352
6.5.2.9. Mercurio Bioacumulado..... 353
6.5.2.10. Níquel Bioacumulado..... 354
6.5.2.11. Plomo Bioacumulado..... 355
6.5.2.12. Vanadio Bioacumulado..... 356

Capítulo VII. Conclusiones..... 359

Bibliografía..... 365

Anexos..... 391

Anexo 1. Especies de líquenes estudiadas..... 393
Anexo 2. HAP´s y compuestos orgánicos persistentes..... 411
Anexo 3. Procedimientos..... 421
Anexo 4 Ortofotos..... 443

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fuentes de contaminantes atmosféricos
Tabla 2. Tipos de Partículas
Tabla 3. Emisiones: Contaminantes Antropogénicos y Naturales.
Tabla 4. Distancia y Altitud de las Estaciones con respecto a la Central Térmica.
Tabla 5. Inventarios de las localidades en estudio.
Tabla 6. Especies en estudio en las estaciones de muestreo
Tabla 7. Tipo de recubrimiento.
Tabla 8. Valores Históricos de Porcentaje de Humedad Relativa
Tabla 9. Datos Metereológicos Históricos
Tabla 10. Concentración de Azufre.
Tabla 11. ANOVA (Azufre).
Tabla 12 . Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas. (Factor Distancia-S)
Tabla 13. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas. (Factor Altura-S)
Tabla 14. Valores medios de Azufre en Cabinas de Inmisión.
Tabla 15. Concentración de Nitrógeno.
Tabla 16. ANOVA (Nitrógeno).
Tabla 17. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Distancia-N)
Tabla 18. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Altura-N)
Tabla 19. Concentración de Clorofila.
Tabla 20. ANOVA (Clorofila)
Tabla 21. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas. (Factor Distancia- Clo)
Tabla 22. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas. (Factor Altura-Clo)
Tabla 23. Concentración de Feofitina
Tabla 24. ANOVA (Feofitina)

Tabla 25. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Distancia-Feo)
Tabla 26. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Altura-Feo)
Tabla 27 . Concentración de Arsénico
Tabla 28. ANOVA (Arsénico)
Tabla 29. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Distancia-As)
Tabla 30. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Altura-As)
Tabla 31. Prueba de Levene (Arsénico)
Tabla 32. Prueba de Games-Howell (Arsénico)
Tabla 33. Concentración de Cadmio.
Tabla 34. ANOVA (Cadmio).
Tabla 35. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas. (Factor Distancia-Cd)
Tabla 36. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas. (Factor Altura-Cd)
Tabla 37 . Concentración de Cobre.
Tabla 38. ANOVA (Cobre)
Tabla 39. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Distancia-Cu)
Tabla 40. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Altura-Cu).
Tabla 41. Concentración de Cromo
Tabla 42. ANOVA (Cromo).
Tabla 43. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Distancia- Cr)
Tabla 44. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Altura- Cr)
Tabla 45. Concentración de Mercurio

Tabla 46. ANOVA (Mercurio)
Tabla 47. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Distancia-Hg)
Tabla 48. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Altura-Hg)
Tabla 49. Concentración de Níquel
Tabla 50. ANOVA (Níquel)
Tabla 51. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Distancia-Ni)
Tabla 52. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Altura-Ni)
Tabla 53. Concentración de Plomo
Tabla 54. ANOVA (Plomo).
Tabla 55. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas. (Factor Distancia-Pb).
Tabla 56. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas. (Factor Altura- Pb)
Tabla 57. Concentración de Vanadio.
Tabla 58. ANOVA (Vanadio)
Tabla 59. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Distancia-Pb)
Tabla 60 Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Altura-Pb)
Tabla 61 . Compuestos Orgánicos Estación 1
Tabla 62. Compuestos Orgánicos Estación 2
Tabla 63 . Compuestos Orgánicos Estación 3
Tabla 64. Compuestos Orgánicos Estación 4
Tabla 65 . Compuestos Orgánicos Estación 5
Tabla 66. Compuestos Orgánicos Estación 6
Tabla 67. Compuestos Orgánicos Estación 7
Tabla 68. Compuestos Orgánicos Estación 8
Tabla 69. Compuestos Orgánicos Estación 9

Tabla 70. Compuestos Orgánicos Estación 10 (*Parmelia*)
Tabla 71. Compuestos Orgánicos Estación 10 (*Lobaria*)
Tabla 72 . Compuestos Orgánicos Estación 10, (*Usnea*)
Tabla 73. Compuestos Orgánicos Estación 11
Tabla 74. Compuestos Orgánicos Estación 12

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos Morfológicos de Líquenes.
Figura 2. Talo de Líquen.
Figura 3. Mapa de gran canaria.
Figura 4. Barranco de Tirajana. (Fuente: Canariasnatural.net).
Figura 5. Ubicación de estaciones en estudio.
Figura 6. Mapa del Área en estudio.
Figura 7. Espectrofotómetro ultravioleta-visible UV-Visible *(DU 800 UV-Visible, BECKMAN COULTER).*
Figura 8. Analizador elemental Carlo Erba modelo CHNS-O EA1108, provisto de automuestrador.
Figura 9. Espectroscopio de Absorción Atómica AA (GBC 904 AA) con cámara de grafito.
Figura 10. Espectroscopio de Absorción Atómica Varian AA240Z con cámara de grafito GTA120.
Figura 11. Espectroscopio Perkin Elmer Analyst 400 con llama, con el software WINLAB32 for AA Flame, con generación de hidruros
Figura 12. Espectroscopio Perkin Elmer Aanalyst 400 con llama, con generación de hidruros.
Figura 13. Cromatógrafo de gases-masas/masas CG-MS/MS (Varian CP-3800 con detector MS/MS SATURN 2000.
Figura 14. Detalle de rejilla utilizada.
Figura 15. Rejilla utilizada para líquenes epifíticos.
Figura 16. Porcentaje de Humedad Relativa promedio 1971-2000 y año 2013
Figura 17. Rosa de los Vientos Años 2010 y 2013.
Figuta 18. Localización de las Estaciones de la Red de Inmisión.
Figura 19 . Concentración Promedio Azufre en relación con la Distancia a la Central
Figura 20 . Concentración Promedio Azufre en relación con la Altura de la Estación
Figura 21. Promedio de Valores Medios de Azufre en Cabinas de Inmisión 2003-2013.

Figura 22. Mapa de Distribución de Azufre.
Figura 23. Concentración Promedio Nitrógeno en relación con la Distancia a la Central
Figura 24 . Concentración Promedio Nitrógeno en relación con la Altura de la Estación
Figura 25. Mapa de Distribución de Nitrógeno.
Figura 26. Concentración Promedio Clorofila en relación con la Distancia a la Central
Figura 27. Concentración Promedio de Clorofila en relación con la Altura de la Estación
Figura 28. Mapa de Distribución de Clorofila
Figura 29. Concentración Promedio Feofitina en relación con la Distancia a la Central
Figura 30. Concentración Promedio de Feofitina en relación con la Altura de la Estación
Figura 31. Mapa de Distribución de Feofitina
Figura 32. Concentración Promedio Arsénico en relación con la Distancia a la Central
Figura 33. Concentración Promedio Arsénico en relación a la Altura de la Estación
Figura 34. Mapa de Distribución de Arsénico
Figura 35. Concentración Promedio Cadmio en relación con la Distancia a la Central
Figura 36. Concentración Promedio Cadmio en relación a la Altura de la Estación
Figura 37. Mapa de Distribución de Cadmio.
Figura 38. Concentración Promedio Cobre en relación con la Distancia a la Central
Figura 39. Concentración Promedio Cobre en relación con la Altura de la Estación
Figura 40. Mapa de Distribución de Cobre
Figura 41. Concentración Promedio Cromo en relación con la Distancia a la Central
Figura 42. Concentración Promedio Cromo en relación con la Altura de la Estación
Figura 43. Mapa de Distribución de Cromo.
Figura 44. Concentración Promedio Mercurio en relación con la Distancia a la Central.
Figura 45. Concentración Promedio Mercurio en relación con la Altura de la Estación.
Figura 46. Mapa de Distribución de Mercurio
Figura 47. Concentración Promedio Níquel en relación con la Distancia a la Central
Figura 48. Concentración Promedio Níquel en relación a la Altura de la Estación.
Figura 49. Mapa de Distribución de Níquel.
Figura 50. Concentración Promedio Plomo en relación con la Distancia a la Central
Figura 51. Concentración Promedio Plomo en relación con la Altura de la Estación
Figura 52. Mapa de Distribución de Plomo

Figura 53. Concentración Promedio Vanadio en relación con la Distancia a la Central
Figura 54. Concentración Promedio Vanadio en relación a la Altura de la Estación
Figura 55. Mapa de Distribución de Vanadio.
Figura 56. Mapa de Isolíneas de Concentración.

Capítulo I:

Antecedentes.

Capítulo I: Antecedentes.

1. Introducción.

1.1. Objetivos.

1.1.1. Objetivo General.

1.1..2. Objetivos Específicos.

1. 2. Bioindicadores Liquénicos.

1. 3. Contaminación Atmosférica.

1. 3. 1. Contaminantes Atmosféricos.

1. 3. 2. Contaminantes primarios.

1. 3. 3. Contaminantes secundarios.

1. 4. La Calidad del aire.

1. 4. 1. Inmisiones.

1. 4. 2. Emisiones.

1. 5. Correlación entre las Inmisiones y las Emisiones de Contaminantes.

1.5.1. Influencia de los procesos meteorológicos en la contaminación atmosférica

1. 6. Efectos producidos por la contaminación atmosférica.

1. 6. 1. Efectos sobre la salud humana.

1. 6. 2. Efectos sobre la vegetación.

1. 6. 3. Efectos sobre los materiales.

1. 6. 4. Efectos sobre la visibilidad.

1. 6. 5. Efectos Globales.

1. 7. La Lucha Contra la Contaminación Atmosférica.

1. 7. 1. Acciones para combatir la contaminación atmosférica.

1. 7. 2. Programas de vigilancia.

1. Introducción.

La contaminación atmosférica que inicialmente ocasionaba primero diversas molestias, posteriormente se ha convertido en una amenaza para la calidad de la vida; ya que, una contaminación excesiva puede poner en peligro la salud y llegar a convertir algunas zonas en lugares no aptos para ser habitados normalmente. Afecta a millones de personas de todo el mundo, especialmente a aquellas que viven en los grandes núcleos urbanos y en áreas fuertemente industrializadas o con denso tráfico de vehículos. Las emanaciones de polvos y gases corrosivos deterioran el medio ambiente dando lugar a olores desagradables, pérdida de visibilidad y daños para la salud humana, para los cultivos y otras formas de vegetación y sobre los materiales de construcción.

La técnica de los indicadores biológicos se basa en la sensibilidad que presentan algunas especies o variedades de ciertos organismos a ciertos contaminantes gaseosos atmosféricos, que permiten identificar la presencia de estos contaminantes y vigilar la evolución de la contaminación atmosférica.

Entre las distintas especies animales y vegetales utilizados como indicadores biológicos, los líquenes son los más ampliamente empleados en contaminación atmosférica. Los líquenes, entidad morfológica compuesta por la asociación simbiótica de un hongo y un alga, son muy sensibles al SO_2, NO_2, HF y HCl, entre otros. Estos contaminantes producen alteraciones morfológicas y fisiológicas en los líquenes, lo que unido a su continua actividad fotosintética, gran capacidad de acumulación de contaminantes tales como azufre, plomo, flúor e isótopos radiactivos que son captados desde la atmósfera; la cual, es su fuente principal de alimentación, aunado a su larga longevidad, permiten seguir la evolución de la contaminación y los convierte así, en excelentes bioindicadores, ya que suelen acumular los contaminantes, y no los excretan. (aunque en algunos casos pueden metabolizarlos si su toxicidad no es muy elevada).

En la presente tesis se estudia el efecto de la contaminación atmosférica sobre líquenes en el entorno de un área industrial al sur de Gran Canaria (alrededor del área de influencia de la Central Térmica de Barranco de Tirajana), estableciéndose 12 estaciones de muestreo, con el fin de seguir a lo largo del tiempo, el recubrimiento y vitalidad de las especies de líquenes; en especial, las fructiculosas cuya interrelación con el medio atmosférico es mayor.

La metodología del estudio se basa en acciones de campo y estudios físico-químicos de laboratorio. Para ello, se colocaron en donde fue posible, rejillas de seguimiento sobre especies representativas y con un índice de abundancia comparables con las distintas estaciones en estudio.

El método de campo utilizado se basa en un estudio fotográfico a lo largo del tiempo y el establecimiento de porcentajes de recubrimiento que ayuden a reconocer a lo largo del ciclo biológico los posibles efectos atmosféricos (humedad, temperatura, contaminantes, etc.). Reportándose como parámetros biológicos de Vitalidad y Recubrimiento.

Se analizaron al mismo tiempo, algunos parámetros fisicoquímicos, que indican de forma cuantitativa, la bioacumulación de contaminantes atmosféricos en líquenes recolectados en los alrededores de las rejillas fijadas en cada estación: metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni , Pb y V), SO_2, NO_x, Además de obtener el radio de densidades ópticas de clorofila *a* /feofitina *a,* que nos indica el grado de vitalidad de los líquenes en estudio. Así como la concentración de éstas últimas.

Se ha seguido la evolución en la concentración de los parámetros fisicoquímicos citados con anterioridad durante un periodo de seis años: 2005, 2006, 2007, 2008, 2010 y 2013.

Así mismo, se incorporan otros parámetros a analizar debido a la importancia que tienen sobre la salud, se analizándose la presencia de HAP´s, Pesticidas Organoclorados y Organofosforados y PCB´S, encontrándose su presencia en algunas

muestras, durante el período de cinco años 2005, 2006, 2007, 2008 y 2010. Éstos parámetros no se analizaron en el año 2013.

1. 1. Objetivos.

1. 1. 1. Objetivo General.

Evaluar los efectos de la Contaminación Atmosférica sobre los bioindicadores liquénicos de la Zona Sur de la Isla de Gran Canaria, localizada en el entorno del Barranco de Tirajana, mediante la cuantificación de la bioacumulación de contaminantes atmosféricos y observar las modificaciones de su aspecto biológico, que incluyan alteraciones morfológicas y fisiológicas,

1. 1. 2. Objetivos Específicos.

1. Determinar la concentración de Clorofila *a* y Feofitina *a* que indican el estado de degradación de los líquenes en cuánto a la actividad fotosintética de los líquenes de la zona en estudio.
2. Determinar la concentración de N y S bioacumulada en los líquenes de la zona en estudio.
3. Determinar la concentración de metales pesados: As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb y V, bioacumulada en los líquenes de la zona en estudio.
4. Determinar la concentración de HAP´s, Pesticidas Organoclorados, Pesticidas Organofosforados y PCB´s, bioacumulada en los líquenes de la zona en estudio.
5. Determinar los cambios en el Recubrimiento y la Vitalidad de los líquenes de la zona de estudio, comparando los estados inicial y final del período en estudio.
6. Elaborar mapas de isolíneas de concentración de cada uno de los contaminantes en estudio, con el fin de obtener una visión general de la Contaminación Atmosférica de la zona en estudio.

7. Comparar la capacidad de bioacumulación de tres géneros diferentes de líquenes epifíticos (*Parmelia, Usnea y Lobaria)* recolectados en la Estación 10, Pico de las Nieves.

1. 2. Bioindicadores Liquénicos.

Los **líquenes** son los más bioindicadores más ampliamente utilizados en contaminación atmosférica. Los líquenes, entidades morfológicas compuestas por la asociación simbiótica de un hongo y un alga, son muy sensibles al SO_2, HF y HCl, entre otros. Son muy susceptibles y registran rápidamente las variaciones de los caracteres físicos y químicos del ambiente. Existen pocas familias que pueden permanecer en lugares excesivamente contaminados.

A pesar de que no se han comprendido en su totalidad las complejidades de las interacciones entre los organismos vivos y el medio ambiente, se han observado muchas ventajas en la utilización de líquenes comparado con la medición directa de los contaminantes.

Los líquenes son comunes en las áreas de estudio, fáciles de recolectar, pueden proporcionar información integral de los cambios producidos en el entorno, son estables con respecto al tiempo, y no representan gastos excesivos y tampoco la necesidad de personal altamente formado en su manejo. Por el otro lado, los líquenes absorben constituyentes de las deposiciones, seca y húmeda, de manera más o menos constante, y excretan la menor cantidad posible de ellos, durante todo su tiempo de vida.

En resumen, los líquenes acumulan sustancias a concentraciones que exceden en muchos casos sus requerimientos fisiológicos y toleran estas altas concentraciones, transformándolos en cristales de oxalatos y ácidos complejos.

1. 3. Contaminación Atmosférica.

El Aire es un bien común en peligro. La degradación del medio ambiente, debida a la actitud adoptada por los humanos hacia la naturaleza durante el siglo pasado; la idea de que tenían licencia para explotar los recursos naturales con una total indiferencia ante todo lo que no repercutiera en su beneficio directo, ha dado lugar a uno de los problemas capitales que la Humanidad tiene planteados en la actualidad, la Contaminación.

La explotación intensiva de los recursos naturales y el desarrollo de grandes concentraciones industriales y urbanas en determinadas zonas, son fenómenos que, por incontrolados, han dado lugar a la saturación de la capacidad asimiladora y regeneradora de la Naturaleza y pueden llevar a perturbaciones irreversibles del equilibrio ecológico general, cuyas consecuencias a largo plazo no son fácilmente previsibles.[163].

La lucha contra la contaminación del aire, de las aguas continentales y marítimas, del suelo; así como la defensa del paisaje, la restauración y mejora de las zonas de interés natural y artístico, la protección de la fauna y de la flora, el tratamiento y eliminación de los residuos, la defensa de las zonas verdes y espacios libres, la reinstalación de industrias fuera de las zonas urbanas, la congestión del tráfico urbano, la lucha contra el ruido y tantas otras cuestiones, no son sino aspectos parciales e interrelacionados que han de tenerse en cuenta al abordar acciones o programas de actuación para la defensa del medio ambiente.

Se considera el aire como un bien común limitado, indispensable para la vida; por lo tanto, su utilización debe estar sujeta a normas que eviten el deterioro de su calidad por el uso o abuso indebido del mismo, de tal modo que se preserve su pureza como garantía del normal desarrollo de los seres vivos sobre la Tierra y de la conservación del patrimonio natural y artístico de la Humanidad.

1. 3. 1. Contaminantes Atmosféricos.

Se entiende por contaminación atmosférica la presencia en el aire de sustancias y formas de energía que alteran la calidad del mismo, de modo que implique riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza.

Todas las actividades humanas, el metabolismo de los seres vivos y los fenómenos naturales que se producen en la superficie o en el interior de la tierra, van acompañados de emisiones de gases, vapores, polvos y aerosoles. Estos, al difundirse a la atmósfera, se integran en los distintos ciclos biogeoquímicos que se desarrollan en la Tierra.

De la definición de contaminación atmosférica dada anteriormente, se desprende
que, para que una sustancia sea considerada contaminante o no, dependerá de los efectos que produzca sobre sus receptores. Se consideran contaminantes aquellas sustancias que pueden dar lugar a riesgo o daño, para las personas o bienes en determinadas circunstancias.

Con frecuencia, los contaminantes naturales ocurren en cantidades mayores que los productos de las actividades humanas, los llamados contaminantes antropogénicos. Sin embargo, los contaminantes antropogénicos presentan la amenaza más significativa a largo plazo para la biosfera.

Fuente	Contaminantes
Volcanes	Óxidos de azufre, partículas
Fuegos Forestales	Monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas
Vendavales	Polvo
Plantas vivas	Hidrocarburos, polen
Plantas en descomposición	Metano, sulfuro de hidrógeno
Suelo	Virus, polvo
Mar	Partículas de sal

Tabla 1. Fuentes de contaminantes atmosféricos.

Una primera clasificación de estas sustancias, atendiendo a cómo se forman, es la que distingue entre contaminantes **primarios** y contaminantes **secundarios.**

Entendemos por **contaminantes primarios,** aquellas sustancias contaminantes que son vertidas directamente a la atmósfera. Los contaminantes primarios provienen de muy diversas fuentes dando lugar a la llamada contaminación convencional. Su naturaleza física y su composición química son muy variadas, si bien podemos agruparlos atendiendo a su peculiaridad más característica, tal como su estado físico (partículas y metales), o elemento químico común (contaminantes gaseosos).

Entre los contaminantes atmosféricos más frecuentes que causan alteraciones en la atmósfera se encuentran:

- Aerosoles (partículas sedimentables, en suspensión, y humos).
- Óxidos de azufre, SO_x
- Monóxido de carbono, CO.
- Óxidos de nitrógeno, NO_x
- Hidrocarburos, C_mH_n

- Ozono, O_3
- Anhídrido carbónico, CO_2

Además de estas sustancias, en la atmósfera se encuentran una serie de contaminantes que se presentan menos frecuentemente, pero que pueden producir efectos negativos sobre determinadas zonas, debido a que su emisión a la atmósfera es muy localizada.

Entre otros, se encuentran como más significativos los siguientes:

- Otros derivados del azufre.
- Halógenos y sus derivados.
- Arsénico y sus derivados.
- Componentes orgánicos.
- Partículas de metales pesados y ligeros, como el plomo, mercurio, cobre, zinc.
- Partículas de sustancias minerales, como el amianto y los asbestos.
- Sustancias radiactivas.

Los **contaminantes atmosféricos secundarios** no se vierten directamente a la atmósfera desde los focos emisores, sino que se producen como consecuencia de las transformaciones y reacciones químicas y fotoquímicas que sufren los contaminantes primarios en el seno de la misma.

Las principales alteraciones atmosféricas producidas por los contaminantes secundarios son:

- Contaminación fotoquímica
- Acidificación del medio y
- Disminución del espesor de la capa de ozono.

1. 3. 2. Contaminantes primarios.

1. 3. 2. 1. Partículas o Aerosoles.

El término partícula o aerosoles, se utiliza a veces indistintamente, ya que los aerosoles atmosféricos se definen como dispersiones de sustancias sólidas o líquidas en el aire.

Las propiedades de las partículas que más afectan a los procesos de contaminación atmosférica son, el tamaño de partícula, la forma y la composición química. El tamaño de las partículas oscila entre 1 y 1000 micras, aunque existen algunas muy especiales fuera de estos límites. En la atmósfera, las partículas de tamaño inferior a 1 micra realizan movimientos al azar, produciendo choques entre ellas que dan lugar a agregados de mayor tamaño en un proceso denominado “coagulación”.

Las partículas de tamaños comprendidos entre 1 y 10 micras tienden a formar suspensiones mecánicamente estables en el aire, por lo que reciben el nombre de «materia en suspensión», pudiendo ser trasladadas a grandes distancias por la acción de los vientos. Las partículas mayores de 10 micras permanecen en suspensión en el aire durante períodos de tiempo relativamente cortos, por lo que se las conoce como «materia sedimentable»; sus efectos son más acusados en las proximidades de las fuentes que las emiten. El tamaño de las partículas es un factor muy importante en la determinación tanto de los efectos que producen, como de las áreas afectadas, ya que establece su tiempo de permanencia en la atmósfera y la facilidad con que se introducen en las vías respiratorias profundas.

La composición química varía mucho de unas partículas a otras, dependiendo fundamentalmente de su origen. Así las partículas de polvo procedentes del suelo contienen, principalmente, compuestos de calcio, aluminio y silicio. El humo procedente de la combustión del carbón, petróleo, madera y residuos domésticos

contiene muchos compuestos orgánicos, al igual que los insecticidas y algunos productos procedentes de la fabricación de alimentos y de la industria química. En la combustión del carbón y gasolinas se liberan metales pesados que pasan a formar parte de las partículas liberadas a la atmósfera, generalmente en forma de óxidos metálicos. [92].

Las partículas pueden clasificarse, atendiendo a su tamaño y composición en:

Denominación	Composición
Núcleos de Aitken	Partículas con menos de 1 µm de diámetro
Partículas medias (en suspensión)	Partículas con diámetro comprendido entre 1 y 10 µm
Partículas sedimentables	Partículas con diámetro superior a 10 µm
Polvos	Partículas sólidas de origen mineral o materia sólida dispersada por el aire
Humos Industriales	Partículas sólidas o líquidas debido a la volatilización de metales seguida o no de su oxidación por el aire o condensación de vapores
Humos de Combustión	Humos debidos a procesos de combustión, constituidos por partículas de carbono y de hidrocarburos no quemados y cenizas volantes

Tabla 2. Tipos de Partículas.

1. 3. 2. 2. Óxidos de azufre (SO_x).

El óxido de azufre que se emite a la atmósfera en mayores cantidades es el anhídrido sulfuroso (SO_2), y en menor proporción, que no rebasa el 1 ó el 2 por ciento del anterior, el anhídrido sulfúrico (SO_3).

El SO_2 es un gas incoloro, de olor picante e irritante en concentraciones superiores a 3 ppm. Es 2,2 veces más pesado que el aire, a pesar de lo cual se

desplaza rápidamente en la atmósfera, siendo un gas bastante estable. El SO_3 es un gas incoloro y muy reactivo que condensa fácilmente; en condiciones normales no se encuentra en la atmósfera, ya que reacciona rápidamente con el agua atmosférica, formando ácido sulfúrico.

La combustión de cualquier sustancia que contenga azufre, produce emisiones de SO_2 y SO_3; la cantidad de SO_3 producida depende de las condiciones de la reacción, especialmente de la temperatura, oscilando entre 1 y 10 por ciento de los SO_x producidos.

Un mecanismo de formación de SO_x podría ser:

$$\mathbf{S + O_2 \rightarrow SO_2}$$

$$\mathbf{2\ SO_2 + O_2 \rightarrow 2\ SO_3}$$

La segunda reacción se produce en pequeña escala y tiene lugar muy lentamente a la temperatura de la atmósfera, siendo favorecida por la acción de catalizadores. El efecto neto es que la emisión de los SO_x se realiza fundamentalmente en forma de SO_2. [169].

1. 3. 2. 3. Monóxido de carbono (CO).

El monóxido de carbono es el contaminante del aire más abundante en la capa inferior de la atmósfera, sobre todo en el entorno de las grandes ciudades. Es un gas incoloro, inodoro e insípido y su punto de ebullición es de -192° C. Presenta una densidad del 96,5 por ciento de la del aire, siendo un gas muy ligero que no es apreciablemente soluble en agua. Es inflamable y arde con llama azul, aunque no mantiene la combustión.

El CO se produce generalmente como resultado de alguno de los siguientes procesos químicos:

- Combustión incompleta del carbono.
- Reacción a elevada temperatura entre el CO_2 y materiales que tienen carbono.
- Disociación del CO_2 a altas temperaturas.
- Oxidación atmosférica del metano (CH4) procedente de la fermentación anaerobia (sin aire) de la materia orgánica.
- Proceso de producción y degradación de la clorofila en las plantas.

Los principales problemas de contaminación atmosférica por CO son debidos a la combustión incompleta de carburantes en los automóviles. [116].

1. 3. 2. 4. Óxidos de nitrógeno (NO_x).

Los contaminantes que poseen en su molécula algún átomo de nitrógeno pueden clasificarse en 3 grupos diferentes: formas orgánicas, formas oxidadas y forma reducidas.

Se conocen ocho óxidos de nitrógeno distintos, pero normalmente sólo tienen interés como contaminantes dos de ellos, el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2). El resto se encuentra en equilibrio con estos dos, pero en concentraciones tan extraordinariamente bajas que carecen de importancia.

El óxido nítrico (NO) es un gas incoloro y no inflamable, pero inodoro y tóxico. El dióxido de nitrógeno (NO_2) es un gas pardo-rojizo, no es inflamable pero sí tóxico y se caracteriza por un olor muy asfixiante. Se utiliza normalmente la notación NO_x para representar colectivamente al NO y al NO_2 implicados en la contaminación del aire.

La mayor parte de los óxidos de nitrógeno se forman por la oxidación del nitrógeno atmosférico, durante los procesos de combustión a temperaturas elevadas. El oxígeno y el nitrógeno del aire reaccionan para formar NO, oxidándose éste

posteriormente a NO_2.

$$N_2 + O_2 \rightarrow 2\ NO$$

$$2\ NO + O_2 \rightarrow 2\ NO_2$$

La mayor parte de los NO_x emitidos a la atmósfera lo son en la forma NO. [100].

1. 3. 2. 5. Hidrocarburos (HC).

Son sustancias que contienen hidrógeno y carbono. El estado físico de los hidrocarburos, de los que se conocen decenas de millares, depende de su estructura molecular y en particular del número de átomos de carbono que forman su molécula.

Los hidrocarburos que contienen de uno a cuatro átomos de carbono son gases a la temperatura ordinaria, siendo éstos los más importantes desde el punto de vista de la contaminación atmosférica, ya que favorecen la formación de las reacciones fotoquímicas. [6].

1. 3. 2. 6. Ozono (O_3).

El ozono es una forma alotrópica del oxígeno. Su fórmula química es O_3. En condiciones normales es un gas incoloro de olor picante característico. Posee un gran poder oxidante y gran tendencia a transformarse en oxígeno.

Las concentraciones de ozono a nivel del suelo son muy pequeñas, incrementándose rápidamente con la altura. Su presencia en la parte baja de la atmósfera se debe, sobre todo, a la acción fotoquímica de las radiaciones solares, en presencia de NO_x y HC.[113].

1. 3. 2. 7. Anhídrido carbónico (CO_2).

El anhídrido carbónico o dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro, no tóxico, más denso que el aire, que se presenta en la atmósfera en concentraciones que oscilan entre 250 y 400 ppm.

En realidad no puede considerarse como contaminante en sentido estricto ya que no es tóxico, y se halla en atmósferas puras de modo natural. No obstante, por los posibles riesgos que entraña su acumulación en la atmósfera, como consecuencia de las alteraciones producidas en su ciclo por las actividades humanas que pudieran dar lugar a una modificación del clima de la Tierra, se considera sustancia contaminante.

1. 3. 2. 8. Compuestos halogenados.

De entre los productos químicos que contienen halógenos en su molécula, son contaminantes de la atmósfera: el cloro, el fluoruro de hidrógeno, el cloruro de hidrógeno y ciertos haluros. Entre estos destacamos la acción tóxica del flúor y sus derivados, sobre los vegetales.

1. 3. 2. 9. Metales Pesados.

Los metales son elementos químicos que generalmente se hallan presentes en la atmósfera en muy bajas concentraciones.

Una de las consecuencias más graves de la presencia de metales tóxicos en el ambiente es que no son degradados, ni química ni biológicamente por la naturaleza, lo que origina su persistencia en ella. Esta persistencia lleva a la amplificación biológica de los metales en las cadenas tróficas.

Como consecuencia de este proceso, las concentraciones de metales en los miembros superiores de la cadena pueden alcanzar valores muy superiores a los encontrados en la atmósfera.

Entre los metales pesados más importantes por sus efectos sobre la salud del ser humano están el mercurio (Hg) y el plomo (Pb). La cantidad de plomo en el aire ha experimentado un marcado aumento como consecuencia de las actividades humanas,

siendo las concentraciones de plomo en las áreas urbanas de 5 a 50 veces superiores que en las áreas rurales.[2].

1. 3. 3. Contaminantes secundarios.

1. 3. 3. 1. Contaminación fotoquímica.

La contaminación fotoquímica se produce como consecuencia de la aparición en la atmósfera de oxidantes, originados al reaccionar entre sí los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos y el oxígeno en presencia de la radiación ultravioleta de los rayos del sol.

La formación de los oxidantes se ve favorecida en situaciones estacionarias de altas presiones (anticiclones) asociados a una fuerte insolación y vientos débiles que dificultan la dispersión de los contaminantes primarios.

El mecanismo de formación de los oxidantes fotoquímicos es complejo, realizándose por etapas a través de una serie de reacciones químicas. El proceso completo puede ser simplificado en las tres etapas siguientes:

- Formación de oxidantes a través del ciclo fotolítico del NO_2:

$$\mathbf{NO_2 + Radiación\ ultravioleta \rightarrow NO + O}$$

$$\mathbf{O + O_2 \rightarrow O_3}$$

$$\mathbf{O_3 + NO \rightarrow NO_2 + O_2}$$

- Formación de radicales libres activos: La presencia en el aire de hidrocarburos hace que el ciclo fotolítico se desequilibre al reaccionar éstos con el oxígeno atómico y el ozono generado, produciendo radicales libres muy reactivos.

$$\mathbf{O_3 + 3HC \rightarrow 3HCO^{-}}$$

- Formación de productos finales: Los radicales libres formados reaccionan con otros radicales, con los contaminantes primarios y con los constituyentes normales del aire, dando lugar a los contaminantes fotoquímicos según las reacciones:

$$\mathbf{HC^{-}_3 + HC \rightarrow Aldehídos,\ cetonas,\ etc.}$$

$$\mathbf{HCO_2 + NO_2 \rightarrow Nitratos\ de\ peroxiacilo\ (PAN)}$$

La mezcla resultante de todas estas sustancias, da lugar a la denominada contaminación fotoquímica o «smog fotoquímico» tipo “Los Ángeles”, como normalmente se le conoce, debido a que fue en esta ciudad californiana donde se observó por primera vez. Este tipo de contaminación se presenta cada vez con más frecuencia en las grandes ciudades de los países industrializados, siendo muy interesante el estudio de la variación durante el día de la concentración de los contaminantes que intervienen en el mecanismo de formación de los oxidantes fotoquímicos.[43].

1. 3. 3. 2. Acidificación del medio ambiental (lluvias ácidas).

Se define cómo la pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra en forma de ácidos, de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera.

La acidificación es un ejemplo claro de las interrelaciones entre los distintos factores ambientales, atmósfera, suelo, agua y organismos vivos. Así, la contaminación atmosférica producida por los SO_x y NO_x afecta directa o indirectamente, al agua, al suelo y a los ecosistemas.

La amplitud e importancia de la acidificación del medio es debida, principalmente, a las grandes cantidades de óxidos de azufre y de nitrógeno lanzados a la atmósfera, siendo de destacar que del total de las emisiones de SO_2 en el globo terrestre, aproximadamente la mitad, son emitidas por las actividades humanas (antropogénicas) y que la mayor parte de éstas se producen en las regiones industrializadas del Hemisferio Norte, que ocupan menos del 5% de la superficie terrestre.

El proceso de retorno a la tierra puede realizarse de dos maneras:

a) *Deposición seca*: Una fracción de los óxidos vertidos a la atmósfera retorna a la superficie de la tierra en forma gaseosa o de partículas. Esto puede ocurrir cerca de las fuentes de emisión de los contaminantes, o a una distancia de varios cientos de kilómetros de la misma, en función de las condiciones de dispersión. No obstante, la deposición en seco es predominante en zonas próximas al foco emisor.

b) *Deposición húmeda*: La mayor parte de los SO_2 y NO_x que permanecen en el aire, sufren un proceso de oxidación que da lugar a la formación de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3). Estos ácidos se
disuelven en las gotas de agua que forman las nubes y en las gotas de lluvia, retornando al suelo con las precipitaciones. Una parte de estos ácidos queda neutralizada por sustancias presentes en el aire, tales como el amoníaco, formando iones de amonio
(NH_4^-).

Los ácidos disueltos consisten en iones de sulfato, iones nitrato e iones de hidrógeno. Todos estos iones están presentes en las gotas de lluvia, lo que da lugar a la acidificación de la misma.

1. 3. 3. 3. Ruptura de la capa de ozono.

Uno de los grandes problemas causados por las reacciones que tienen lugar entre los contaminantes de la atmósfera, es el de la disminución de la capa de ozono de la estratosfera, como consecuencia de la descarga de determinadas sustancias a la atmósfera.[44].

El ozono contenido en la estratosfera se puede descomponer a través de una serie de reacciones cíclicas, en las que intervienen radicales que contienen hidrógeno y nitrógeno. El ozono se puede descomponer también por absorción de radiación ultravioleta, produciendo oxígeno atómico y molecular.

Como consecuencia de estas reacciones de producción y destrucción, se forma una capa de ozono cuyo espesor varía cíclicamente, tanto diaria como estacionalmente.

Se han detectado como potencialmente peligrosas para la capa de ozono, tres tipos de actividades humanas:

1. Generación de gran cantidad de óxidos de nitrógeno emitidos por los aviones supersónicos como el Concorde y los cohetes espaciales. [183].

2. Producción de óxidos nitrosos como resultado de la acción desnitrificadora de las bacterias en el suelo. Los óxidos nitrosos son productos relativamente estables que pueden persistir en la troposfera, llegando a alcanzar la estratosfera donde se pueden descomponer en óxido nítrico que es activo en la destrucción del ozono. Esta es, probablemente, la fuente principal del óxido de nitrógeno presente en la estratosfera y el principal agente de destrucción del ozono en el ciclo natural.

3. Finalmente, los átomos libres de cloro pueden producir la destrucción del ozono a través de una serie de reacciones. La presencia de estos átomos de cloro en la estratosfera se debe a las reacciones que sufren los clorofluorocarbonos cuando se dispersan en la atmósfera. En las últimas décadas, dos de estos productos, el CF_2Cl_2 y el $CFCl_3$ se han utilizado, en grandes cantidades, como refrigerantes en la industria y especialmente como propelentes de las aspersiones ("spray"), debido a su alta estabilidad química, baja toxicidad y no ser inflamables.

Su estabilidad química es la que permite la migración de estos productos hasta la estratosfera, en la que se descomponen como consecuencia de la radiación ultravioleta produciendo átomos de cloro.[103].

1. 4. La Calidad del aire.

1. 4. 1. Inmisiones.

La atmósfera terrestre es finita y su capacidad de auto depuración, aunque todavía no es muy conocida, también parece tener sus límites. La emisión a la atmósfera de sustancias contaminantes en cantidades crecientes, como consecuencia

de la expansión demográfica mundial y el progreso de la industria, han provocado ya, concentraciones de estas sustancias a nivel del suelo que han ido acompañadas de aumentos espectaculares de la mortalidad y morbilidad, existiendo pruebas abundantes de que, en general, las concentraciones elevadas de contaminantes en el aire atentan contra la salud de los seres humanos.

En la mayoría de los países industrializados se han establecido valores máximos de concentración admisibles, para los contaminantes atmosféricos más característicos. Estos valores se han fijado a partir de estudios teóricos y prácticos de los efectos que sobre la salud tiene la contaminación al nivel actual y los que puede alcanzar en el futuro. Los efectos se basan principalmente en el examen de factores epidemiológicos. (Consejo de la Unión Europea. Directiva Ambiental de la Calidad del Aire).

Para la definición de criterios y pautas de salubridad del aire, se pueden utilizar varios procedimientos. Las técnicas experimentales se basan en el ensayo con animales o en el empleo de muestras de voluntarios en atmósferas controladas. Son muy útiles para el estudio de los efectos fisiológicos, bioquímicos y sobre el comportamiento producido por supuestos contaminantes.

Los estudios epidemiológicos permiten investigar los efectos producidos por las fluctuaciones de la contaminación atmosférica sobre la totalidad de la población, o sobre grupos seleccionados y definidos.

Determinar los efectos de la contaminación del aire es sumamente complejo, ya que la asociación entre un contaminante y una enfermedad o defunción, puede ser más accidental que causal. No se conocen en la actualidad con exactitud, las relaciones existentes entre las enfermedades humanas por la exposición a niveles bajos de contaminación durante un período largo de tiempo.[155].

En la evaluación de riesgos asociados a la contaminación y para la fijación de normas de calidad del aire, lo ideal sería disponer de una serie completa de curvas *dosis-respuesta* para los distintos contaminantes atmosféricos, para los diferentes efectos y para los distintos tipos de población expuesta. De momento, no se dispone de esta información para todos los contaminantes atmosféricos y aún es más, es difícil que llegue a reunirse para las combinaciones de sustancias que más frecuentemente se encuentran en el aire.

En la mayoría de los países, las normas de calidad del aire tienen como objetivo inmediato el evitar enfermedades y fallecimientos en aquellos subgrupos de la población más sensibles. Hay que tener en cuenta que el objetivo a largo plazo ha de ser de protección contra todo posible efecto, sobre la salud del hombre, incluidas las alteraciones genéticas y somáticas. [132].

Generalmente, la calidad del aire se evalúa por medio de los denominados *niveles de inmisión*, que vienen definidos como la concentración media de un contaminante presente en el aire durante un período de tiempo determinado. La unidad en que se expresan normalmente estos niveles son microgramos de contaminante por metro cúbico de aire, medidos durante un período de tiempo determinado.

1. 4. 2. Emisiones.

Los contaminantes presentes en la atmósfera proceden de dos tipos de fuentes emisoras bien diferenciadas: las naturales y las antropogénicas. En el primer caso la presencia de contaminantes se debe a causas naturales, mientras que en el segundo tiene su origen en las actividades humanas.

Las emisiones primarias originadas por los focos naturales provienen fundamentalmente de los volcanes, incendios forestales y descomposición de la materia orgánica en el suelo y en los océanos.

Por su parte, los principales focos antropogénicos de emisiones primarias los podemos clasificar en:

- Focos fijos Industriales: procesos industriales
- Instalaciones fijas de combustión
- Domésticos: Instalaciones de calefacción
- Focos móviles: vehículos automóviles
- Aeronaves, buques
- Focos compuestos: aglomeraciones industriales
- Áreas urbanas

Si atendemos a la distribución espacial de la emisión de contaminantes, podemos clasificar los focos en: **puntuales**, tales como, las chimeneas industriales aisladas, las calles de una ciudad, las carreteras y autopistas; y **planos**, las aglomeraciones industriales y las áreas urbanas como ejemplos más representativos.

En la siguiente Tabla, se muestra la proporción entre las emisiones primarias naturales y antropogénicas para los distintos contaminantes.

Emisiones	% Antropogénicos	% Naturales
Aerosoles	11,3	88,7
SO_x	42,9	57,1
CO	9,4	90,6
NO_x	11,3	88,7
HC	15,5	84,5

Tabla 3. Emisiones: Contaminantes Antropogénicos y Naturales.

Las cifras anteriores muestran la gran importancia que, en cuanto a emisiones globales, tienen las fuentes naturales de emisión de contaminantes en relación con los antropogénicos, excepto en el caso de las emisiones de anhídrido sulfuroso, en que casi se igualan ambas fuentes.

Atendiendo a la distribución espacial de estas emisiones se observa que, en las regiones más industrializadas de Europa y Norteamérica, las emisiones antropogénicas de SO_2 alcanzan proporciones muy superiores a las naturales. Así, en el Norte de Europa, las emisiones antropogénicas originan alrededor del 90% del azufre que se encuentre en circulación en la atmósfera. [147].

1.5. Correlación entre las Inmisiones y las Emisiones de Contaminantes.

Desde los focos de contaminación se produce la mezcla y dilución de los contaminantes en el aire, dando lugar a una distribución de la concentración de los mismos, variable tanto en el espacio como en el tiempo.

La cantidad de contaminantes presentes en la atmósfera vendrá determinada por la diferencia entre los lanzados y producidos en la misma, y los que se eliminan a través de los procesos de autodepuración por deposición, precipitación y absorción por el suelo, el agua y la vegetación. Estos procesos de autodepuración atmosférica pueden causar acumulaciones excesivas de contaminantes en otros medios (vegetación, suelos, lagos, etc.), incluso lejos del punto de emisión del contaminante, como consecuencia del arrastre atmosférico producido por el viento.

En las áreas en que se dé una fuerte concentración de focos emisores de contaminantes, pueden producirse episodios de fuerte contaminación local como consecuencia de la persistencia de situaciones meteorológicas adversas para la difusión de los contaminantes.

Estos episodios se manifiestan con grandes aumentos de la concentración de contaminantes en un área más o menos extensa alrededor de focos contaminantes y pueden verse forzados por las condiciones especiales de la topografía de la zona, o por la localización de barreras artificiales (edificios) que pueden favorecer la acumulación de contaminantes.

En otros casos, los contaminantes pueden alcanzar bastante altura e introducirse en las masas de aire que forman las corrientes generales de vientos sobre la tierra, siendo arrastrados a muchos kilómetros de las fuentes de emisión.[151].

1. 5. 1. Influencia de los procesos meteorológicos en la contaminación atmosférica.

La concentración de contaminantes a nivel del suelo varía, como consecuencia del desequilibrio entre los índices de producción de contaminantes y los de dilución y desaparición de los mismos.

Es decir, la concentración de contaminantes dependerá de la relación de fuerzas entre las fuentes contaminantes y las condiciones de autodepuración atmosférica.

La importancia de las condiciones meteorológicas en el grado de contaminación atmosférica se reconoce, observando las variaciones de la calidad del aire en una zona determinada de unos días a otros, aún cuando las emisiones permanecen prácticamente constantes. (Instituto Nacional de Meteorología. España).[94].

Las principales variables meteorológicas a considerar por su influencia sobre la calidad del aire son:

- el transporte convectivo horizontal, que depende de las velocidades y direcciones del viento; y

- el transporte convectivo vertical, que depende de la estabilidad atmosférica y del fenómeno de la inversión térmica de las capas de la atmósfera. [115].

1. 6. Efectos producidos por la contaminación atmosférica.

La contaminación atmosférica afecta a millones de personas de todo el mundo, especialmente a aquellas que viven en los grandes núcleos urbanos y en áreas fuertemente industrializadas, con denso tráfico de vehículos. Las emanaciones de polvos y gases corrosivos deterioran el medio ambiente dando lugar a olores desagradables, pérdida de visibilidad y daños para la salud humana, para los cultivos y otras formas de vegetación y sobre los materiales de construcción.

Los efectos producidos por la contaminación atmosférica dependen principalmente de la concentración de contaminantes, del tipo de contaminantes presentes, del tiempo de exposición y de las fluctuaciones temporales en las concentraciones de contaminantes; de la sensibilidad de los receptores y los sinergismos entre contaminantes; así como la concentración y el tiempo de exposición.

1. 6. 1. Efectos sobre la salud humana.

Las relaciones existentes entre las enfermedades humanas y la exposición a la contaminación, no son sencillas ni se conocen con exactitud. No obstante, existen pruebas abundantes de que en general, las concentraciones elevadas de contaminantes en el aire son peligrosas para los seres humanos y animales.[33].

Los efectos que producen sobre la salud se ponen claramente de manifiesto, como se ha observado en Londres, México, D.F., Nueva York y Osaka entre otras ciudades, debido al aumento de la mortalidad, sobre todo en las personas de edad avanzada o en los individuos más sensibles por cualquier razón.

Más difíciles de discernir son los efectos que, a largo plazo, pueden producir las exposiciones episódicas a concentraciones bajas, medias y elevadas de contaminantes. [65] , [97].

Se ha comprobado la relación existente entre la contaminación atmosférica, producida por **partículas en suspensión y anhídrido sulfuroso**, y la aparición de bronquitis crónica caracterizada por la producción de flemas, la exacerbación de catarros y dificultades respiratorias tanto en los hombres como en las mujeres adultas.

Igualmente se ha observado que, cuando las concentraciones tanto de SO_2 como de partículas en suspensión superan los 500 microgramos/metro cúbico de aire, como promedio de 24 horas, se produce un aumento de la mortalidad en la población en general, siendo los grupos más sensibles los individuos con procesos cardíacos o pulmonares. Con promedios diarios de 250 microgramos/metro cúbico de SO_2 y de humos se ha registrado el empeoramiento en los enfermos con afecciones pulmonares. [95].

La presencia en el aire de elevadas concentraciones de **monóxido de carbono (CO)** representa una amenaza para la salud. El CO inhalado se combina con la hemoglobina de la sangre, dando lugar a la formación de carbooxihemoglobina, lo que reduce la capacidad de la sangre para el transporte de oxígeno desde los pulmones hasta los tejidos.

Se ha comprobado que una saturación de carbooxihemoglobina por encima del 10% puede provocar efectos sobre la función psicomotora que se manifiesta con síntomas de cansancio, cefaleas y alteraciones de la coordinación. Por encima del 5% de saturación se producen cambios funcionales cardíacos y pulmonares y se aumenta el umbral visual. No se han encontrado pruebas que indiquen efectos significativos con una concentración de carbooxihemoglobina inferior al 2%. [116].

Los **óxidos de nitrógeno NO_x,** son igualmente peligrosos para la salud. La mayor parte de los estudios relativos a los efectos de los NO_x se han ocupado, sobre todo, del NO_2 ya que es el más tóxico. Los efectos producidos por el NO_2 sobre los

animales y los seres humanos afectan, casi por entero, al tracto respiratorio. Se ha observado que una concentración media de 190 microgramos de NO_2 por metro cúbico de aire superada el 40% de los días, aumenta la frecuencia de infecciones de las vías respiratorias en la población expuesta. [145].

Otros tipos de contaminantes que afectan a la salud humana son los **oxidantes fotoquímicos.** Se han realizado estudios epidemiológicos en la ciudad de Los Ángeles y no se descubrió ningún aumento de mortalidad como consecuencia de episodios de contaminación fotoquímica, cuando las concentraciones de oxidantes variaban entre 0,5 y 0,9 partes por millón. No obstante, se ha observado que los oxidantes fotoquímicos tienen efectos nocivos sobre la salud, produciendo irritación de los ojos y mucosas.

Los oxidantes fotoquímicos afectan especialmente a las personas con afecciones asmáticas y bronco-pulmonares, en los que se han observado crisis asmáticas y disminución de la función pulmonar cuando las concentraciones atmosféricas de oxidantes eran superiores a 500 microgramos por metro cúbico de aire.[1].

Los **metales pesados** presentes en el aire representan una amenaza para la salud humana cuando se inhalan en cantidades suficientes, debido a la tendencia que presenta el organismo a su acumulación. No pueden ser degradados ni metabolizados, son ejemplos típicos de persistencia.

La definición de metales pesados como la concibe Davies (1980), son aquellos elementos de la tabla periódica con una densidad mayor a 6 g/cm^3, sin embargo, también se toman en cuenta densidades menores y otras propiedades como base para distinguir a los metales pesados de otros elementos de la tabla periódica.

Pueden introducirse en el ambiente fluvial debido al clima natural, procesos de erosión y de transporte, así como producto de actividades antropogénicas. La fuente principal natural de metales pesados en la atmósfera son vientos provenientes de

suelos arenosos, erupciones volcánicas, aerosol marino, fuegos forestales y aerosoles biogénicos.

El transporte y subsecuente deposición de metales pesados en el ambiente es dominado por procesos hidrológicos. Como la mayoría de ellos tiene bajo solubilidad en las condiciones de pH encontradas usualmente en ambientes no contaminados, su redistribución está asociada con la erosión, transporte y deposición selectiva de sedimentos límbicos.[70].

La mayoría de los elementos metálicos no se introducen con facilidad en los organismos. Sin embargo, éstos pueden formar compuestos orgánicos e inorgánicos que si lo hacen y afectan de manera significativa a los seres vivos.

La toxicidad del metal depende de las características del mismo, modificado por la capacidad de éste de penetrar en tejidos específicos. Todos los metales son tóxicos si están presentes en exceso dentro de un organismo, pero algunos son considerados como elementos trazas esenciales, siendo necesarios para el buen funcionamiento del metabolismo. Por ejemplo, el calcio, el hierro y el zinc son necesarios en cantidades elevadas. El selenio y el cobre, también son elementos necesarios, pero se necesitan en menor cantidad que los mencionados anteriormente.

Su absorción del medio o de los alimentos, así como el porcentaje de absorción por tejidos específicos, cambia según sean las necesidades del organismo. Bajo condiciones de déficit, un metal dado suele ser absorbido con mayor avidez. Este incremento de absorción se extiende frecuentemente a otros metales que ocupan una posición similar en la tabla periódica. Se puede decir que, dichos metales siguen a los metales esenciales y se adhieren al órgano objetivo. Esto ocasiona toxicidad, al introducir metales tóxicos por similaridad química (zinc y cadmio, cadmio y plomo).

Los metales que han causado graves daños ecológicos y daños en la salud humana en las últimas décadas incluyen: plomo, mercurio, cadmio, selenio. De éstos, el selenio y el cadmio son problemas relativamente nuevos, en el sentido que su

presencia en el ambiente no había sido considerada como dañina hasta ahora, por presentar problemas puntuales. La toxicidad del mercurio y el plomo en contraste, era ya conocida por Plinio *El Viejo*.[112].

Desde el punto de vista de toxicidad específica, la importancia principal de las partículas en forma de ceniza, es su capacidad de adherir elementos metálicos gaseosos, que condensan en su superficie, los cuales provienen de la quema de combustibles.

Estos metales traza incluyen a aquellos conocidos por su actividad biológica: cadmio, vanadio, níquel, mercurio y manganeso. Las partículas sólidas pueden iniciar el ciclo tóxico mediante su inhalación o por vía alimentaria cuando dichos compuestos tóxicos son acumulados en el forraje, comida o en el moco nasal o bronquial.

Natusch en un estudio de cenizas, recalcó la importancia de la adsorción selectiva de los metales en la superficie de éstas, y que está relacionado con los puntos de ebullición. Las sustancias cuyo punto de ebullición es menor que la temperatura de la superficie de la partícula (ceniza), tiende a concentrarse en las de menor tamaño.

Este hecho tiene gran importancia por sus implicaciones toxicológicas, debido a que las partículas de menor tamaño tienen mayor penetración y deposición en el tracto respiratorio. Los aerosoles producidos por procesos de manufactura pueden ser líquidos (bruma de ácido sulfúrico) o sólidos (carbón y sílica).

Se han realizado numerosos estudios comparativos realizados tanto en animales como en humanos, que implican la deposición de los aerosoles. [190]. Dichas observaciones en humanos, monos y cerdos de guinea indican que la retención total es mayor en el caso del cerdo de guinea y la deposición alveolar es mucho menor para partículas de 1,5 µm de diámetro, debido a la gran remoción de ese tamaño de partícula en la región traqueo bronquial. [171].

Otra fuente de contaminación por metales, es el polvo producido por el roce de los neumáticos contra el pavimento (tire dust). Fukuzaki (1986) ha demostrado que contienen metales pesados como manganeso, hierro, cobre, níquel cobre, zinc y plomo. Sadiq (1989) analizó las concentraciones producidas de estos metales contaminantes y demostró una gran contaminación que afectaba al suelo.

Las partículas que contienen metales pesados son producidas por frenado de vehículos, pinturas de las carreteas, partículas de diesel quemado, materiales de construcción, o catalizadores de automóviles. Cuándo los neumáticos rozan sobre la superficie del asfalto, éstos pueden asimilar estas partículas. [2].

Los **hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP´s)** son un grupo de más de 100 sustancias químicas diferentes que se forman durante la combustión incompleta del carbón, petróleo y gasolina, basura y otras sustancias orgánicas como tabaco, carne preparada a la parrilla y cigarrillos. Los HAP´s se encuentran generalmente como una mezcla de dos o más de estos compuestos como el hollín.[59].

Son compuestos orgánicos semivolátiles e hidrofóbicos. Como consecuencia directa de su persistencia y su habilidad de re-volatilizarse, se produce un transporte a larga distancia de las regiones de emisión a regiones polares. Sin embargo, a grandes altitudes y temperaturas bajas, los procesos de deposición son más pronunciados que su evaporación. [195].

Los HAP´s de bajo peso molecular se encuentran en forma gaseosa, mientras que los de alto peso molecular están asociados con partículas, como suelen presentarse la mayoría de los HAP´s carcinogénicos. Se descomponen bajo la acción de la radiación solar intensa y reaccionan con otros contaminantes para producir otros compuestos, aún más tóxicos. [89].

Los HAP´s se introducen directamente en las plantas vía estomas o indirectamente a través de las raíces. Pueden transferirse desde el suelo por adsorción en las superficies de las hojas, pero la deposición atmosférica a menudo excede la obtención del suelo por las raíces con un proceso de acumulación.[136].

En años recientes, las HAP´s han adquirido mayor importancia en los estudios de contaminación atmosférica debido a que algunos de ellos son considerados carcinogénicos y mutagénicos. (IARC, 1983).

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DSSH) de los Estados Unidos de Norteamérica, ha determinado que es razonable predecir que algunos HAP´s son carcinogénicos, ocasionando principalmente cáncer de estómago y de piel. [201] y la Agencia de Medio Ambiente del mismo país ha promulgado 16 HAP´s como contaminantes prioritarios para su vigilancia en el ambiente.[11].

A escala global, las emisiones totales de HAP´s en los Estados Unidos de América, Europa y Japón ha ido declinando desde la década de los 70 hasta la década de los 90. Sin embargo, evidencias encontradas en el hielo de Groenlandia sugieren que la tendencia global de la emisión de HAP´s ha permanecido constante desde el inicio del periodo industrial hasta la década de los 90. Ésto, probablemente como resultado del incremento continuo de emisiones de HAP´s provenientes de países en desarrollo, especialmente China e India. Se estima que la emisión total de los 16 HAP´s prioritarios enlistado en la EPA, alcanzaron las 25.300 toneladas en el años 2003, las cuales se acercan mucho a la emisión más grande de los Estados Unidos de América en 1990. [83].

Otras sustancias tóxicas presentes en el aire tales como el **amianto**, el **cloruro de vinilo**, varios **compuestos orgánicos halogenados** y el **benceno**, pueden provocar modificaciones genéticas y malformaciones en los fetos, siendo algunos de ellos cancerígenos.[23].

Los **PCB´s** son un grupo de sustancias químicas sintéticas utilizadas desde 1929 en la fabricación de numerosos productos. Pueden permanecer en el medio ambiente y acumularse a lo largo de la cadena alimentaria. Muchos países han prohibido o limitado seriamente la fabricación de PCB´s.

El hombre puede estar expuesto a los PCB´s por el consumo de alimentos contaminados, por beber agua contaminada y por respirar aire contaminado.

Las madres expuestas a los PCB´s podrían transmitir estas sustancias a sus hijos. El tiempo que tardan los PCB´s en transformarse dentro del cuerpo y la cantidad que se almacena o excreta dependen del tipo de PCB´s.

La exposición a los PCB´s puede afectar a la fecundidad, al desarrollo infantil, al sistema inmunológico y es posible que también influya en el riesgo de padecer determinados tipos de cáncer. IPCS - OMS (2003).

Se ha comprobado que la Dosis de Ingestión Tolerable (TDI) establecida por la OMS se excede en España con límites que llegan a 4,5 pg TEQ Kg-1 bw d-1. Recientes estudios han comprobado que, pese a que la mayor parte de las dioxinas en alimentación suelen llegar al ser humano a través de la leche, huevos y carne. En España, la dieta Mediterránea, de vegetales y cereales, contribuye significativamente a los altos niveles de ingesta de **dioxinas y furanos** (PCDD/Fs), mientras que el Equivalente de Toxicidad (TEQ) procedente de carne, huevos, grasas, aceites, leche y productos lácteos era de 117 pg TEQ día-1, cuando se le sumaban verduras, legumbres, cereales y frutas, alcanzaba 210 pg TEQ día-1.

Se han encontrado restos de **plaguicidas** en grasas y aceites consumidos en España, estimando la Dosis de Ingestión Aceptable (ADI) que van desde 1,22 ug/día en el caso de DDT, 2,92 ug/día para HCH, 0,48 ug/día de dieldrín, y 1,03 ug/día de HCB. Aunque estos niveles son inferiores a décadas anteriores, su presencia sigue siendo preocupante.

Para peces de río, los niveles encontrados en España son más preocupantes. Un estudio realizado en los ríos catalanes, detectó niveles de contaminantes muy altos, especialmente en el cauce bajo de los ríos Ter y Ebro (181 ppb de PCB; 81 ppb de DDT; 21 ppb de HCH), y se encontró que los niveles de heptacloro excedían los límites admisibles.

También en los análisis sobre peces de acuicultura en León se comprobó que todas las muestras tenían contaminación por **organoclorados** e incluso la presencia de contaminantes fue evidente en lagos remotos de los Pirineos, donde la única fuente de contaminación es por vía atmosférica.

Existe poca información sobre los restos de contaminantes como el **hexaclorobenceno (HCB)** en carne. Los pocos datos disponibles para España encontraron niveles muy altos, especialmente en pollos, que superaban a los detectados en puntos como Australia, Vietnam, Tailandia o la India. En leche se han detectado niveles de contaminación por HCB de 19 µg/kg en grasa. Otros contaminantes encontrados alcanzaban 56 µg/kg-1 en grasa de **DDT**, 43 µg/kg en grasa de **HCH,** 26 µg/kg en grasa de **Dieldrín**. (Herrera y col.)

Un análisis realizado sobre muestras de leche de 12 granjas en España (Ramos y col.) comprobó que el nivel de dioxinas era mayor en aquellas zonas que se encontraban cercanas a plantas incineradoras, fábricas químicas o metalúrgicas. Mientras en las más alejadas de estos centros industriales los datos de PCDD/Fs daban cifras que iban entre 1,3 y 2,47 pg TEQ g^{-1} en grasa, en las otras se llegaban a medir 3,80 pg TEQ g^{-1}.

Un estudio sobre diferentes tipos de infusiones realizado en España, encontró residuos de plaguicidas con niveles de 78 µg kg^{-1} de aldrín, 353 µg kg^{-1} de lindano y 28 µg kg^{-1} de gama-HCH. El informe no explicaba de donde procedían las plantas pero apuntaba como razón de estos altos niveles de plaguicidas a su uso sobre éstas, a pesar de estar prohibidos hace años. Los mayores residuos de **Aldrin** se encontraron en manzanilla, mientras que los de HCH eran en tila. El té negro mostró niveles más bajos. (Estrategia europea de medio ambiente y salud. Bruselas, 11.6.2003.COM (2003) 338 final).

1. 6. 2. Efectos sobre la vegetación.

Las plantas muestran una especial sensibilidad a la mayor parte de los contaminantes del aire, y sufren daños significativos, a concentraciones mucho más bajas que las necesarias para causar efectos perjudiciales sobre la salud humana y animal.

Es muy difícil establecer valores límites de la contaminación atmosférica a partir de los cuales los efectos negativos se empiezan a manifestar, ya que estos dependen de la constitución de la planta y de la especie de que se trate, es decir, hay una especificidad de respuesta.[166].

Por otra parte, los efectos producidos por la contaminación atmosférica se pueden manifestar por la alteración de diversos mecanismos vitales de las plantas. Así, las funciones metabólicas y los tejidos vegetales se pueden ver afectados como consecuencia de la acción de gases como el anhídrido sulfuroso, el monóxido de carbono y los compuestos de flúor. Los daños causados se manifiestan en forma de necrosis foliar en áreas localizadas, que presentan un color marrón-rojizo-blanco; de clorosis, adquiriendo el tejido una coloración verde pálida o amarilla, o por la aparición de manchas puntuales necróticas. Si la acción del contaminante es muy fuerte puede llegar a paralizar el crecimiento de la planta.

Las brumas de ácido sulfúrico, causadas por la presencia en el aire de los óxidos de azufre, producen daños en las hojas, caracterizados por la aparición de manchas producidas por las gotas de ácido depositadas sobre las hojas humedecidas por el rocío o la niebla. El flúor y sus derivados son contaminantes del aire que se caracterizan por ser tóxicos en general para las plantas a muy pequeñas concentraciones.

Entre los óxidos de nitrógeno, sólo el NO_2 es tóxico para las plantas, a pequeñas concentraciones y largo tiempo de exposición. Los daños se manifiestan por la aparición de necrosis y clorosis de color negro o marrón rojizo en las hojas. Los

sinergismos de NO_2 y SO_2 provocan a bajas concentraciones alteraciones en la vegetación. Este hecho se ha observado en zonas urbanas.[84].

La contaminación atmosférica fotoquímica produce daños en la vegetación a concentraciones que ya se están alcanzando en algunas ciudades. El ozono y los PAN son los principales causantes de estos daños. Las lesiones producidas por el ozono se manifiestan como manchas blancas o punteados claros sobre la superficie de las hojas.

Los daños producidos por los PAN se presentan, como graves lesiones foliares caracterizadas por una tintura plateada o vidriosa en el envés de la hoja; así como, por un ataque general en las hojas jóvenes.

La radiación gamma produce numerosos efectos biológicos sobre las plantas, incluyendo daños a los ácidos nucleicos, citocromos, mitocondria y membranas celulares. Una irradiación crónica en una zona, produce una disminución gradual de la diversidad de plantas. Poco a poco los bosques van muriendo, empezando por los árboles más sensibles como los pinos.[5].

1. 6. 3. Efectos sobre los materiales.

La contaminación atmosférica se ha convertido en una fuente significativa de pérdidas económicas en las áreas urbanas, esto aunado a los daños irreparables que causa sobre los objetos y los monumentos de alto valor histórico-artístico, y a los edificios de uso común en la vida diaria. La acción de los contaminantes atmosféricos sobre los materiales puede manifestarse por la sedimentación de partículas sobre la superficie de los mismos, deteriorando su aspecto externo, o por ataque químico al reaccionar el contaminante con el material.

Un alto contenido de SO_x en el aire produce la aceleración de la corrosión de los metales tales como el acero al carbono, zinc, acero galvanizado, compuestos del

cobre, níquel y aluminio. Esta aceleración se ve favorecida por la presencia de partículas depositadas por la humedad y por la temperatura.

En general, puede señalarse que la corrosividad de una atmósfera depende de condiciones meteorológicas y factores de contaminación. Se han observado correlaciones entre tasas de corrosión en metales y concentraciones de SO_2 en la atmósfera, dándose tasas de corrosión más altas en zonas industrializadas. Las nieblas de ácido sulfúrico procedentes de la conversión catalítica del SO_2 a SO_3 en la atmósfera,

atacan a los materiales de construcción como el mármol, la caliza y la argamasa, convirtiendo los carbonatos en sulfatos solubles en el agua de lluvia. Esto unido a que el volumen específico de los sulfatos es mayor que el de los carbonatos, hace que en la piedra aparezcan escamas y se debilite mecánicamente. [117].

Los compuestos de azufre pueden producir daños en pinturas plásticas, papel, fibras textiles y sobre los contactos eléctricos de los sistemas electrónicos, dando lugar a deficiencias en su funcionamiento. La acción de los oxidantes fotoquímicos se produce sobre todo en los cauchos y elastómeros en los que causan un rápido envejecimiento y agrietamiento. Los óxidos de nitrógeno decoloran y estropean las fibras textiles y los nitratos producen la corrosión de las aleaciones de cobre-níquel.

Los mecanismos de deterioro en ambientes contaminados pueden resumirse de forma general en cinco principales:

1. *Abrasión.* Las partículas sólidas de gran tamaño que viajan a grandes velocidades puede ocasionar abrasión destructiva sobre las superficies expuestas.

2. *Deposición y Remoción.* Las partículas sólidas y algunos líquidos depositados en una superficie pueden no dañar o cambiar al material, pero sí afectar su apariencia. Sin embargo, la remoción de esas partículas pueden ocasionar algún

tipo de deterioro. Aunque a simple vista, un simple lavado puede no causar deterioro visible, si se repite con frecuencia la limpieza, acaba por ocasionarlo.

3. *Ataque Químico Directo.* Algunos contaminantes del aire pueden reaccionar directa e irreversiblemente con los materiales; por ejemplo, los puntos de corrosión o picado de la superficie metálica expuesta a un aerosol ácido.

4. *Ataque Químico Indirecto.* Ciertos materiales absorben los contaminantes y son dañados cuando éstos sufren cambios químicos; por ejemplo, la piel absorbe dióxido de azufre, que es convertido en ácido sulfúrico, que acaba deteriorándola.

5. *Corrosión electroquímica:* La mayoría del deterioro de metales ferrosos, es debido a un proceso electroquímico. La formación de ánodos y cátodos es resultado de las diferencia de diferencias químicas o físicas de las superficies metálicas. La distancia entre los ánodos y cátodos es usualmente pequeña y la diferencia de potencial entre ellos es lo fuerza conductora de la acción corrosiva. Este proceso es acelerado por la humedad. [172].

1. 6. 4. Efectos sobre la visibilidad.

El impacto más importante en términos de propiedades atmosféricas, es en términos de visibilidad, donde los contaminantes pueden alterar seriamente la transparencia atmosférica. Probablemente, se ejerza cada vez más presión pública para fomentar un control exhaustivo de la contaminación atmosférica, con el fin de prevenirla.

La presencia de contaminantes en la atmósfera produce la absorción y dispersión de la luz solar, acompañados de una notable reducción de la visibilidad. Los aerosoles de tamaños comprendidos entre 1,4 y 0,8 micras son los que tienen una

mayor influencia en la dispersión de la luz solar, debido a la proximidad de su tamaño a la longitud de onda de la luz visible.

Se ha observado una estrecha relación entre la disminución de la visibilidad y la presencia de sulfatos en la atmósfera. Una investigación realizada en Suecia, ha demostrado que los períodos de mínima visibilidad se corresponden con la presencia de concentraciones máximas de sulfatos y nitratos en la atmósfera.

Los gases normalmente presentes en la atmósfera, no absorben la luz visible. El NO_2 en concentraciones altas puede tener un efecto significativo ya que absorbe la franja azul-verde del espectro visible de la radiación solar. Consecuencia de esta absorción es, que la atmósfera de las grandes ciudades adquiera una coloración amarilla-pardusca-rojiza cuando se presentan concentraciones de NO_2 elevadas.[115].

1. 6. 5. Efectos Globales.

Se reconoce cada vez más, la necesidad de realizar estudios sobre los posibles efectos que, a largo plazo, la contaminación atmosférica puede producir sobre los distintos ecosistemas, sobre el clima y sobre la estratosfera. Tanto las modificaciones de las características de los suelos, debidas al lavado de los elementos del mismo por las lluvias ácidas, como los cambios producidos en las grandes masas de agua por el aumento de la concentración de metales tóxicos, pueden tener consecuencias ecológicas irreversibles.

Los primeros efectos producidos por las precipitaciones ácidas se detectaron en cientos de lagos de Escandinavia, alrededor de los años 60. En la actualidad, más de 18.000 lagos están acidificados, en Suecia alrededor de 6.000 de ellos muestran graves daños sobre la biología acuática, y unos 2.000 de los situados en la zona Meridional y Central han perdido sus poblaciones piscícolas

En Europa Central, las altas deposiciones de compuestos de azufre y nitrógeno han producido graves daños sobre amplias áreas de suelo y bosques. El daño a los

bosques probablemente ha sido causado, por la acción combinada de ácidos y metales en el suelo y por las altas concentraciones de SO_2 presentes en el aire de estas zonas.

La combinación de un bajo pH en el agua del suelo unido a la presencia de metales, principalmente aluminio, produce daños en las raíces de los árboles, a través de las cuales absorben gran cantidad de nutrientes. Este hecho produce una pérdida de vitalidad haciéndolos especialmente sensibles a las plagas.

El aumento de las concentraciones de dióxido de carbono y de otros contaminantes en la atmósfera puede dar lugar a una elevación general de la temperatura del globo, por «efecto invernadero», que modificaría el régimen de lluvias, lo que produciría alteraciones sobre las tierras cultivables y la extensión de los desiertos. Por otra parte, los sulfatos y las partículas finas que disminuyen la visibilidad pueden igualmente reducir la intensidad de la radiación solar. Los hidrocarburos halogenados y los óxidos de nitrógeno emitidos por los aviones supersónicos pueden provocar una disminución de ozono en la estratosfera, con el consiguiente aumento de la radiación ultravioleta que llegaría a la Tierra.

Observaciones realizadas en Suecia, Australia, Alaska y Hawai muestran que la concentración de CO_2, que oscilaba entre 265 y 290 ppm antes de los años cincuenta, llegó a ser de 330 ppm en 1976, aumentando a un ritmo de alrededor de 1 ppm en el curso de los últimos años.

El incremento de la concentración del CO_2 en la atmósfera puede alterar la temperatura de la Tierra, debido a que el CO_2 es transparente a la radiación solar recibida del sol dejándola pasar libremente, pero absorbe la radiación infrarroja emitida desde la tierra. El efecto total es que cuanto mayor sea la concentración de CO_2 en la atmósfera, mayor es la cantidad de energía recibida por la Tierra desde el Sol, la cual queda atrapada en la atmósfera en forma de calor. Este fenómeno que se conoce con el nombre de «efecto invernadero» produciría un recalentamiento de la atmósfera.

Se estima que, de duplicarse la concentración actual de CO_2 en la atmósfera, podría aumentar en dos o tres grados centígrados la temperatura de la misma. En las zonas lluviosas se incrementarán las precipitaciones y las zonas áridas serán aún más áridas, mientras que los hielos polares comenzarán a derretirse.[139].

En Europa la lucha contra el cambio climático es una prioridad fundamental de la estrategia de desarrollo sostenible y confirma la determinación de cumplir los compromisos del Protocolo de Kyoto. El liderazgo de la UE en la CMCC ha sido un factor determinante en la negociación y también en el firme apoyo al planteamiento multilateral por el que se ha optado como la mejor manera de hacer frente a las amenazas ambientales mundiales. (Dirección General del Medio Ambiente. Unión Europea Directiva 2001/81/CE). [56].

1. 7. La Lucha Contra la Contaminación Atmosférica.

En 1956 se publicó en el Reino Unido la Ley de Aire Limpio, que tenía como objetivo el disminuir la emisión de humos, fomentando el uso de combustibles limpios. La primera ley sobre contaminación atmosférica no aparece en Estados Unidos hasta 1963 con la Ley de Aire Limpio. En Francia se aborda el problema de la contaminación atmosférica, de una forma general en el año 1961, y en la mayoría de los países la legislación sobre la contaminación atmosférica es más reciente.[85].

A finales de la década de los 60, comienza a hablarse en España sobre el fenómeno de la contaminación atmosférica, principalmente en las grandes ciudades. Sin embargo, es hasta principios de los años 80, cuando llegan noticias desde el norte de Europa sobre las llamadas lluvias ácidas: se empieza a hablar de la muerte de los lagos

en Escandinavia, de la destrucción de la Selva Negra alemana, la corrosión acelerada de edificaciones y monumentos históricos en Roma, etc.

Así, los dos centros nacionales españoles de referencia en lo relativo a la calidad del aire y emisiones a la atmósfera son la Subdirección General de Calidad Ambiental de la Agencia Europea de Medio Ambiente y la Dirección General de Calidad y Evaluación ambiental. En cuanto a la normativa establecida al respecto, para España cabe destacar:

- El Real Decreto 1994/1995 sobre contaminación atmosférica y ozono.

- La Directiva 92/72/CEE, por la que se establecen los umbrales de protección a la salud y a la vegetación.

- La Directiva 96/62/CE sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente.

- La Decisión 97/101/CE del Consejo de 27 de enero de 1997, por la que se establece un intercambio recíproco de información y datos de las redes y estaciones aisladas de medición de la contaminación atmosférica en los Estados miembros (DOCE, de 5 de febrero de 1997).

Se han planteado dos enfoques distintos a la hora de formular estrategias para combatir la contaminación atmosférica:

1. La gestión de los recursos atmosféricos, que se basa en la fijación de unas normas de calidad del aire que no deben sobrepasarse. Este tipo de estrategia tiene su origen en Alemania, Estados Unidos y otros países.

2. La aplicación de los mejores medios practicables, basada en el control de las emisiones mediante el empleo de la mejor tecnología disponible, económicamente aplicable para la reducción de la contaminación. Este tipo de estrategia se ha seguido principalmente en el Reino Unido.

La estrategia óptima que combina las dos anteriores, se ha de basar en el control de las emisiones de las fuentes fijas, exigiendo los mejores medios practicables

y en la adopción de criterios de gestión de recursos atmosféricos para controlar la contaminación en los núcleos urbanos y áreas industriales.

1. 7. 1. Acciones para combatir la contaminación atmosférica.

Para combatir la contaminación atmosférica es necesario emprender una serie de acciones a las que podemos clasificar como acciones correctivas y acciones preventivas.

1. 7. 1. 1. Acciones correctivas.

Se aplican en aquellas zonas en donde se superan regularmente los niveles admisibles de la calidad del aire.

Consisten, por lo general, en la adopción de medidas correctoras de la contaminación atmosférica, en aquellos focos en funcionamiento que se considere contribuyen en mayor medida a generar este tipo de contaminación. Estas medidas actúan disminuyendo la emisión de contaminantes al mejorar los sistemas de depuración, o mejorando las condiciones de dispersión de contaminantes.

La adopción de medidas correctoras es un sistema eficaz para solucionar un problema de contaminación atmosférica local, pero no es correcto desde un punto de vista ambiental más amplio, por las siguientes razones:

1) Se transfiere el problema de la contaminación atmosférica a otro medio; por ejemplo, descontaminamos la atmósfera y contaminamos el agua y el suelo.

2) El funcionamiento de los equipos de depuración consume materias primas y energía cuya generación produce contaminación atmosférica en otras zonas, pudiendo darse la paradoja de que sean mayores los contaminantes producidos que los eliminados.

1. 7. 1. 2. Acciones preventivas.

Las acciones preventivas son aquellas dirigidas a evitar que aparezcan los problemas de contaminación atmosférica. Entre las distintas acciones posibles podemos destacar la planificación urbana, los estudios previos de evaluación de impacto ambiental y el ahorro energético.

Partiendo de la base de que las principales fuentes de contaminación atmosférica de los núcleos urbanos son los vehículos, las calefacciones domésticas y la industria, es necesario para evitar la aparición de estos problemas, emprender una serie de acciones preventivas coordinadas, encaminadas a reducir las emisiones de estas fuentes. Entre estas acciones podemos distinguir:

- Fomentar el uso de combustibles de bajo poder contaminante.
- Estimular el ahorro energético.
- Fomentar el uso de tecnologías poco contaminantes.
- Aplicación de innovaciones tecnológicas a los vehículos.
- Planificar de forma adecuada el tráfico vehicular.

1. 7. 2. Programas de vigilancia.

Se define cómo el procedimiento utilizado para la evaluación de la concentración de contaminantes atmosféricos, con el fin de conocer la calidad del aire y su evolución en el tiempo y en el espacio. La realización de tal vigilancia es necesaria para proteger la salud del hombre, los ecosistemas y los bienes en general.

Independientemente de cuál sea la escala y el objetivo a cubrir por el programa de vigilancia, éste requerirá el empleo de métodos y técnicas específicas para la obtención de los datos necesarios. Se utilizan principalmente dos procedimientos diferentes para la vigilancia de la calidad del aire: uno basado en las técnicas del análisis fisicoquímico y otro basado en la técnica de los indicadores biológicos.

1. 7. 2. 1. Procedimientos fisicoquímicos.

El análisis de los contaminantes presentes en la atmósfera por este procedimiento consiste en la toma de muestras de aire en las distintas estaciones que componen la Red de Vigilancia a las que somete a distintos procesos analíticos, para la determinación de los diferentes contaminantes. Las etapas que comprende este procedimiento son:

- Toma de muestras.
- Acondicionamiento de las mismas.
- Análisis.

Por lo general, la toma de muestras incluye la separación del contaminante del seno del gas por filtración o por retención en un absorbente líquido. [85].

1. 7. 2. 2. Indicadores biológicos.

La técnica de los indicadores biológicos se basa en la sensibilidad que presentan algunas especies o variedades de plantas a ciertos contaminantes gaseosos atmosféricos, que permiten identificar la presencia de estos contaminantes y vigilar la evolución de la contaminación atmosférica.

Los contaminantes más comúnmente detectados mediante indicadores biológicos son el ácido fluorhídrico (HF), el etano (C_2H_4), el anhídrido sulfuroso (SO_2), los oxidantes fotoquímicos (PAN) y el ozono (O_3), los metales pesados y los isótopos radiactivos.

Entre las distintas especies animales y vegetales empleados como indicadores biológicos, los **líquenes** son los más utilizados en contaminación atmosférica.

Los líquenes, entidades morfológicas compuestas por la asociación simbiótica de un hongo y un alga, son muy sensibles a la contaminación atmosférica,

principalmente al SO_2, HF y HCl. Estos contaminantes producen alteraciones morfológicas y fisiológicas en los líquenes. Esto, unido a que su actividad fotosintética es continua, su gran capacidad de acumulación de contaminantes tales como azufre, plomo, flúor e isótopos radiactivos que toman de la atmósfera, que es su única fuente de alimentación, y su larga longevidad que permite seguir la evolución de la contaminación, los hace especialmente aptos para ser utilizados como indicadores biológicos de la contaminación atmosférica.[142].

Capítulo II:

Bioindicación.

Capítulo II: Bioindicación.

2. Bioindicación.

2. 1. Generalidades.

- 2. 1. 1. Tipos de indicadores biológicos y bioquímicos.
- 2. 1. 2. Contaminantes detectados.

2. 2. Criterios de selección.

2. 3. Ventajas de la bioindicación.

2.4. Líquenes.

- 2. 4. 1. Generalidades.
- 2. 4. 2. Teorías de la simbiosis.
- 2. 4. 3. Simbiontes.
- 2. 4. 4. Talos.
- 2. 4. 5. Nutrición.
- 2. 4. 6. Nutrición Carbonada e Intercambios Gaseosos.
- 2. 4. 7. Nutrición mineral.
- 2. 4. 8. Relaciones alimentarias entre simbiontes.
- 2. 4. 9. Hábitat.
- 2. 4. 10. Distribución.
- 2. 4. 11. Usos e importancia económica.

2. 5. Bioindicadores liquénicos.

- 2. 5. 1. Mecanismos de acumulación.
- 2. 5. 2. Efectos de la contaminación sobre los líquenes.

2. Bioindicación.

2. 1. Generalidades.

Durante las últimas décadas, se ha intensificado el uso de diversos organismos como indicadores de la contaminación. Se supone que tales organismos acumulan los contaminantes ambientales y pueden utilizarse como indicadores de la bioacumulación de un contaminante dado con relación al tiempo, permitiendo en ciertos casos, la comparación entre niveles de contaminación, en distintas áreas geográficas.

Dentro de este contexto, la mayoría de los países han propuestos diferentes alternativas para detectar productos potencialmente peligrosos, proponiendo programas generales para la evaluación del impacto ambiental. [21], [55].

Dentro de una perspectiva ecotoxicológica, podemos considerar contaminantes o productores de estrés ambiental, a todos los compuestos químicos que son liberados al medio ambiente como resultado de la actividad humana, y que además, causan daño a los organismos vivos.[128].

El uso de sistemas vivientes para evaluar los impactos reales de un contaminante se llama **bioindicación**. Los organismos que podrían ser utilizados con este fin, pueden representarse en el ecosistema y podrían poseer una buena especificidad hacia algunos contaminantes. El método puede usar organismos individuales, o parte de ellos, así como una variedad de organismos diferentes.

Los sistemas vivientes se pueden considerar como integradores desde diferentes puntos de vista:

- con respecto a los factores endógenos (red metabólica y genética interior)
- con respecto a los factores exógenos (ambiente, luz, temperatura, riego, calidad aérea)
- con respecto al tiempo

Así, la bioindicación es la utilización de especies que reaccionan ante factores ambientales cambiando sus funciones vitales y/o su composición química, haciendo posible la extracción de conclusiones en cuanto al estado del medio ambiente.

Dentro de la bioindicación hay que diferenciar entre:

- ✓ Bioindicador: especie que aporta información sobre la presencia o ausencia (cualitativa) de algún contaminante en el medio ambiente,

- ✓ Biomonitor: especie que aporta información sobre las características del problema y sus cambios cuantitativos en el tiempo y en el espacio.

En conclusión, los bioindicadores son organismos que pueden ser utilizados para la identificación de factores ambientales generados por la actividad humana, mientras que los biomonitores son organismos utilizados para la determinación cuantitativa de contaminantes y pueden ser clasificados como **sensibles** y **acumuladores**. [127].

Los biomonitores sensibles pueden ser del tipo visual y se utilizan como integradores del estrés causados por los contaminantes, y como sistemas de alarma preventivos. Se basan en detectar visualmente, los cambios morfológicos y en la abundancia de dicho organismo y/o la alteración de aspectos físicos o químicos en la actividad de ciertos sistemas enzimáticos, así como en las actividades respiratorias o fotosintéticas.[121].

Los bioindicadores acumuladores tienen la capacidad de almacenar los contaminantes en sus tejidos y se utilizan para medir integralmente la concentración de dichos contaminantes en el ambiente. La bioacumulación es el resultado del proceso en equilibrio, de la adquisición y liberación del compuesto, desde y hacia el ambiente, proveniente del organismo en cuestión.[200].

En general, la utilización de animales y plantas en el aseguramiento de la estabilidad ambiental, es un hecho reconocido en el ámbito mundial. Dichos

organismos juegan diferentes papeles o roles en los ecosistemas: poseen demandas específicas tanto físicas como biológicas, que son adquiridas del ambiente que los rodea y además interactúan con él. En teoría, las técnicas desarrolladas por los ecologistas, pueden emplearse a gran escala usando "baja Tecnología" comparada con otras que son más caras y difíciles de implementar Desafortunadamente, la mayoría de las tecnologías que aplican la bioacumulación, requieren de equipo de análisis muy específico y altamente sofisticado, acompañado por el desconocimiento de la taxonomía de los organismos estudiados.

Las plantas, animales, hongos y bacterias han sido ampliamente utilizados como bioindicadores y biomonitores en estudios de contaminación de agua, suelo y agua, sobre todo en las últimas décadas, las técnicas han empleado diversos materiales biológicos como microorganismos, perifiton, conidios, etc. [62].

2. 1. 1. Tipos de indicadores biológicos y bioquímicos.

- tejidos y órganos: cerebro, sangre, hígado, pulmones.
- respuestas de las especies vegetales
- presencia de determinadas especies de flora epifítica
- abundancia de determinadas especies de flora epifítica
- estado de coníferas
- estado o presencia de determinadas herbáceas
- estado de determinados cultivos agrícolas
- estado de fauna doméstica, incluidas abejas
- presencia y abundancia de entomofauna
- estado de fauna salvaje [161].

2. 1. 2. Contaminantes detectados.

- Ozono (O_3)
- Compuestos nitrogenados
- Azufre
- Metales pesados (platino, antimonio, plomo, etc.)

- Compuestos orgánicos volátiles (VOC)
- Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH´s)

2. 2. Criterios de selección.

Con referencia a la determinación del contenido elemental del bioindicador, los organismos pueden ser seleccionados con base a su comportamiento acumulador e integrador con respecto al tiempo.[200]. En la literatura, las especies bioindicadoras utilizadas en monitorear la contaminación atmosférica, se han seleccionado utilizando un criterio base; como por ejemplo, como la especificidad, que considera que la acumulación del contaminante, proviene únicamente de la atmósfera [154], radio de acumulación [165], o que presente una representación bien definida del sitio de muestreo. Por supuesto, el criterio más importante a tomar en cuenta, es la presencia constante del bioindicador en las áreas de muestreo.

Los primeros estudios de bioindicación que datan desde 1960, se basan en las teorías de Stöcker [173] y Phillips [141], se pueden definir las características principales de un bioacumulador:

Los bioacumuladores deben:

1. Acumular el contaminante, sin que éste le ocasione la muerte.

2. Tener una extensa distribución geográfica.

3. Ser abundante, sedentario, o de escasa movilidad; así como ser representativo del área de recolección.

4. Estar disponible todo el año y permitir recolectar una cantidad adecuada de tejido para su análisis.

5. Ser fácil de recolectar y ser resistente a las condiciones de laboratorio y permitir, si es necesario, ser utilizado en estudios absorción de contaminantes.

6. Tener un factor de concentración alta del contaminante bajo estudio, y permitir el análisis directo, sin presentar aumento posterior de la concentración del mismo.

7. Tener la misma correlación del nivel de contenido del contaminante, con el área que lo rodea, en cada sitio estudiado y bajo cualquier condición. Esto debe ser cierto para cualquier organismo estudiado. [48].

2. 3. Ventajas de la bioindicación.

El uso de indicadores biológicos presenta una serie de ventajas frente a los mediadores físico-químicos pero también algunos inconvenientes. (Ministerio de Medio Ambiente de España). Generalmente la ventaja de su uso se debe a planteamientos de tipo económico, tales como el bajo costo y los resultados rápidos; existen otros como el tipo de información que proporcionan, que es acumulativa e integrada y difícil de obtener sólo con medidas físico-químicas, de la misma forma que su capacidad de respuesta a pequeñas alteraciones del medio. Entre los inconvenientes, hay que señalar la imposibilidad de obtener resultados cuantitativos reales en muchos casos debido a los complejos mecanismos, no siempre bien conocidos, de interrelación que existen entre las formas vida y/o su comportamiento, y el medio donde se desarrollan; mecanismos que, en definitiva, son los que permiten su uso como bioindicadores.

Resumiendo las ventajas de la bioindicación:

- Refleja el efecto de todos los factores ambientales en todo el entorno.

- Facilita la medida ya que son capaces de integrar la medida de contaminantes a lo largo del tiempo, ya que éstos se acumulan en los tejidos.
- Permite realizar controles periódicos (meses, años).

- Ayuda a visualizar la velocidad y la dirección de los cambios ambientales.

- Muestra los efectos de la contaminación sobre los seres vivos y su potencial peligrosidad.

- Ayuda a identificar las fuentes de contaminación. [38].

2. 4. Líquenes.

2. 4. 1. Generalidades.

La palabra liquen deriva del latín *lichen*, término que se introdujo en tiempos de Teofrasto.

Hasta 1867, los líquenes estaban considerados como seres simples, intermedios entre las algas y los hongos. Se había emitido también la hipótesis de que algunos líquenes podrían ser algas modificadas o incluso penetradas por los filamentos de un hongo; pero se debe a Schwendener, el haber reconocido, en dos memorias célebres (1867 – 1869), la naturaleza doble de los líquenes, mostrando que las células verdes pertenecían a géneros de algas que viven libres en la naturaleza, y las otras células a hongos. Aunque esta noción revolucionaria provocó desde su origen una viva reacción de parte de ciertos liquenólogos, (la más encarnizada de las cuales fue la de Nylander), por fin se impuso a fines del siglo XIX. Siendo una idea muy exacta, ya que los líquenes no constituyen una división natural de seres organizados, sino que resultan de la unión armoniosa (simbiótica) de un alga o cianofícea con un hongo.[55].

La Asociación Internacional de Liquenología (IAL) define a este grupo de organismos como "una asociación estable de un hongo y un simbionte fotosintético. del que resulta un talo estable con una estructura específica".

Desde el punto de vista de la taxonomía, los líquenes no constituyen un grupo natural sino biológico; y se los clasifica dentro del reino FUNGI. En efecto, los líquenes

son hongos (en su mayoría Ascomycetes), que se asocian con algas (Clorofíceas y Cianofíceas).

En ésta asociación los hongos, denominados micobiontes, son los encargados de conformar generalmente la estructura talina o cuerpo vegetativo del liquen, y las algas o fotobiontes, los constituyentes fotosintetizadores. El alga se ocupa de la adquisición de nutrientes, puesto que contiene clorofila, mientras que el hongo proporciona al alga, agua y minerales. Estos organismos son perennes y mantienen una morfología uniforme con respecto al tiempo. Crecen lentamente, poseen una gran dependencia del ambiente para nutrirse y, difieren de las plantas vasculares, en que éstos no producen semillas durante
su crecimiento. Además, la falta de cutícula o estomas, ocasiona que la absorción de contaminantes se dé en toda la superficie del organismo. [86].

Esta asociación simbiótica es de carácter excepcional en la naturaleza, ya que entre otras, se distingue por la particularidad de sus componentes para reconocerse mutuamente e interactuar en la biosíntesis de sustancias exclusivas a la simbiosis. Poseen una gran resistencia, aún en condiciones de sequedad, calor o frío extremos, además de un extraordinario mecanismo de reparación a nivel celular. [91].

Existen interpretaciones sobre esta asociación muy particulares, como la de Theler, liquenológo sueco, contemporáneo, que considera que un liquen no es un organismo, sino que se trata de "pequeños ecosistemas donde las algas producen y los hongos consumen".

2. 4. 2. Teorías de la simbiosis.

En el interior del talo liquénico, el alga y el hongo presentan diferentes grados de interacción. Pueden presentarse en un estado contiguo, como en los *Collema*, a la producción de filamentos de retención que crecen sobre la superficie del gonidio e incluso a la penetración de haustorios micélicos en el interior del protoplasma del gonidio. En este último caso, el hongo se comporta como un verdadero parásito.

Es frecuente encontrar en el talo de los líquenes lugares más o menos extensos, donde los gonidios están muertos. Es lo que se denomina “zona de necrosis”. No se conoce aún la causa. En todo caso, se supone que sea debido a la asfixia del alga o a que existe una secreción de antibiótico por parte del hongo. En general, existe una gran diversidad entre las relaciones entre los simbiontes y nada puede entrar en un esquema único.

La simbiosis liquénica, se presenta por lo tanto, bajo modalidades múltiples y existen teorías diversas para explicar su naturaleza, Se les puede clasificar en dos corrientes: simbiosis mutualista y simbiosis antagonista.

2. 4. 2. 1. Simbiosis mutualista.

Es muy común que los líquenes vivan con frecuencia en condiciones inhóspitas, dentro de las cuales ni un alga ni un hongo pueden vivir aisladamente. Se prestan pues, un apoyo mutuo. Las algas-gonidio, gracias a la fotosíntesis, suministran a las hifas del hongo los elementos hidrocarbonados que necesitan. El hongo le suministra agua al alga que retiene en sus tejidos y también. sales minerales que obtiene del sustrato. Además la protege contra la desecación, lo que les permite vivir en lugares que le sería imposible en estado libre. Debe añadirse además, la posibilidad de intercambio mutuo entre los dos simbiontes.

2. 4. 2 .2. Simbiosis antagonista.

Se pueden distinguir cuatro modalidades: **Helotismo, Parasitismo**, **Endosaprofitismo y Algoparasitismo**. Cómo sucede siempre, ninguna teoría puede rechazarse completamente y todas llevan parte de razón. Pero con frecuencia, han tenido en cuenta una sola parte del problema.

La simbiosis mutualista es un poco idílica. La existencia de haustorios prueba que el alga no siempre se beneficia de su asociación con el hongo. El parasitismo puro y sus derivaciones, endosaprofitismo y helotismo, no tienen mucho en cuenta que las algas-gonidios se multiplican activamente en los talos liquénicos y que, además reciben sustancias nutritivas del hongo. El liquen es una unión duradera, incompatible con una explotación en sentido único del alga por el hongo.

El algoparasitismo se apoya en observaciones verdaderas, pero la interpretación es demasiado paradójica. Es difícil admitir que el alga, que es autótrofa y que puede llevar una vida libre, parasite un hongo, que en todos los casos es incapaz de vivir solo.

En conclusión, no hay solo una simbiosis liquénica, si no múltiples aspectos de las relaciones que pueden existir entre dos seres que viven conjuntamente, y esto no sólo según los diversos tipos de talo, si no también, para un mismo tipo según las condiciones del medio: el hongo podrá comportarse como parásito, como saprófito o como correcto simbionte; el alga, por su lado, se conformará con el espacio y con los nutrientes que le proporcionan o, por el contrario, pasará a ser intolerable por su enorme capacidad de multiplicación, lo que desencadenará respuestas negativas por parte del hongo.

En la mayoría de los casos, como promueve el helotismo, es el hongo el que queda dueño de la situación y rige el orden.

Aún queda mucho por aclarar de estos seres tan curiosos que son los líquenes, se puede decir que su simbiosis está, ante todo, basada en un estado de equilibrio que se traduce, por una parte, por una unión indefinida de los simbiontes y por otra, por una morfología propia de cada complejo, morfología que se puede estudiar y describir. Esta unión es tan íntima y duradera en sus formas superiores que el liquen no es en su morfología y biología, ni un alga ni un hongo, sino como decía Tobler (1934), una verdadera **"Neue Einheit"**, lo que se traduce como un "Ser Nuevo". [55].

A continuación, se describen brevemente las teorías anteriormente citadas.

2. 4. 2. 2. 1. Helotismo.

La teoría del helotismo (de Ilotes, esclavo de los espartanos), reconoce cómo predominante al hongo que "reina" sobre las algas, a las que convierte en sus "esclavas" y las explota. No las mata desconsideradamente como un parásito ordinario; si no por el contrario, las cuida favoreciendo su crecimiento y multiplicación para sacar provecho. Las algas-gonidios pueden llevar una vida libre autótrofa, mientras que el hongo muere pronto si no encuentra un alga-gonidio; el alga es controlada en su reproducción, mientras que el hongo forma sus esporas con absoluta libertad.

2. 4. 2. 2. 2. Parasitismo.

La teoría del parasitismo puro y simple del hongo sobre el alga se apoya, evidentemente, en la existencia de haustorios. Definido como el extremo de las hifas de un homgo parásito simbionte, que penetra en el tejido del anfitrión, pero permanece fuera de la célula huésped.

2. 4. 2 .2. 3. Endosaprofitismo.

Esta teoría se encuentra relacionada con la zona de necrosis, anteriormente mencionada. Los hongos no matan directamente al alga, como un parásito común, pero serían la causa indirecta de su muerte, probablemente por asfixia; y aprovecharían sus cadáveres, en el interior del talo, como un saprófito.

2. 4. 2. 2. 4. Algoparasitismo.

Considera el parasitismo a la inversa, del alga sobre el hongo. Se basa en que las algas-gonidios se desarrollan mejor sobre un medio que contiene azúcar y peptonas, que sobre un medio puramente mineral; lo que permite suponer que, en el talo de los líquenes se nutren igualmente de materias orgánicas del sustrato por medio de las hifas del hongo, quien está en estrecho contacto con el sustrato. Por otra parte, los cefalodios, por su morfología y la presencia de otra alga que no pertenece al talo normal, recuerdan bastante a los cecidios, por lo que se consideran “algo-cecidios”.

Debido a la presencia del alga, el hongo forma un córtex que adquiere una morfología que se cree propia del liquen, pero que en realidad, sólo tiene el valor de una algo-cecidio. En el interior del talo, los dos constituyentes libran una lucha sin tregua en la que ninguna de los adversarios llega a suplantar al otro, dando como resultado un estado de equilibrio.

El talo de los líquenes por lo tanto, sería el resultado de una enfermedad crónica debido a la igualdad equivalente a las dos fuerzas presentes.

2. 4. 3. Simbiontes.

2. 4. 3. 1. Hongos (micobiontes).

Alrededor de 13.500 de los hongos conocidos son liquenizados:

- Ascomycotina: el 46 % de los Ascomycetes son formadores de líquenes.
- Basidiomycotina: los órdenes y familias más importantes son:

*Tricholamatales: Tricholomataceae: *Omphalina*

*Cantharellales: Clavariaceae: *Multiclavula*.

*Phanerochaetales: Dictyonemataceae: *Cora, Corella, Dictyonema*.

- Deuteromycotina: se conocen aproximadamente 55 especies de los géneros: *Leprocaulon, Normandina, Lepraria, Peltigeropsis, Lyroma, Racodium, Cystocoleus.*

- *Geosiphon pyriforme* probablemente sea un representante de Mastigomycotina, el cual posee células de *Nostoc* incluidas en vesículas globulares especializadas.

Otros grupos particulares de hongos como los Myxomycetes al unirse con algas forman "mixolíquenes", mientras que la unión de Actinomicetes con algas constituye "actinolíquenes", que no son muy frecuentes.

2. 4. 3. 2. Algas (fotobiontes).

❖ Chlorophyta: 90 a 95 % se encuentran en regiones tropicales: *Palmellaceae, Coccomyxaceae, Protococcaceae, Trentepohliaceae, Cladophoraceae, Chlorococcaceae, Oocystaceae, Botryococcaceae.*

❖ Cyanophyta: 5 a 10 % en regiones tropicales: *Chroococcaceae, Nostocaceae, Scytonemataceae, Rivulariaceae*.

❖ Xanthophyceae: *Heterococcus* en *Verrucaria* sp.

❖ Phaeophyceae*: Petroderma* en *Verrucaria* sp.

La unión de los dos simbiontes se realiza mediante un proceso complejo de liquenización, que presenta numerosas fases, que de acuerdo a Marcano, serían las siguientes:

- Fase de pre contacto: estimulación por parte del alga y respuesta tigmotrófica del hongo.

- Fase de contacto: reconocimiento y aglutinación.

- Fase de envoltura del alga por el micobionte: desarrollo de haustorios.

- Fase de incorporación de ambos simbiontes para la formación de una matriz común (integración). Fase soredial.

- Fase de formación y diferenciación del talo.

2. 4. 4. Talos.

El talo puede presentar una estratificación con zonas bien delimitadas, con un estrato algal superior y una médula formada por hifas del hongo, éstos son talos heterómeros. Este es el tipo de arreglo más común en los líquenes. Si las algas se distribuyen entre las células del hongo sin ningún orden, el talo es homómero.

Los talos no están constituidos por verdaderos tejidos, si bien recuerdan a los parénquimas se los clasifican como plecténquimas o pseudoparénquimas. Las hifas son células alargadas que, al participar del talo liquénico, presentan modificaciones en su aspecto citológico. Por ejemplo, en el caso de los Ascoliquenes, tienen poros en los septos por donde pasan plasmodesmos y presentan cuerpos denominados "cuerpos concéntricos", son orgánulos de proteínas cuya función podría estar relacionada con el fenómeno de poiquilohidría (tomar y perder agua rápidamente) que presentan los líquenes. También las paredes son más gruesas.

Aproximadamente 25 géneros de algas y cianobacterias son fotobiontes de líquenes. El género más común es *Trebouxia*, si bien al integrar el talo las células sufren modificaciones, se han reconocido 26 especies de éste género sobre la base del tipo de pirenoide y la forma de los cloroplastos. Si se realizan comparaciones entre

las algas de vida libre con cultivos de las que forman líquenes, presentan modificaciones importantes y algunas especies no pueden ser identificadas.

Generalmente el talo de los líquenes contiene Algas-gonidios que pertenecen a Cianofíceas o a Clorofíceas, y diversos géneros de estos dos grupos pueden entrar en simbiosis para formar un Liquen.

2. 4. 4. 1. Tipos morfológicos.

- *Crustáceos:* con aspecto de costra, muy adheridos al sustrato, pueden ser continuos o fragmentados en placas o areólas. El 65% de las 15.000 especies de líquenes conocidos son crustáceos

- *Foliosos o foliáceos:* con aspecto de hojas, muy extendidos, son llamativos y es la forma más común entre los macro líquenes.

- *Fruticulosos:* son talos ramificados, erguidos o pendientes, como arbolitos pequeños o barbas enmarañadas, muy largas.

- *Gelatinosos:* talos gruesos, quebradizos cuando se encuentran secos y muy blandos e hinchados en presencia de agua.

- *Talos combinados:* crustáceo (escamoso o microfilino) y fruticuloso (con apotecios): podecios (*Cladonia* sp.) o pseudopodecios (*Stereocaulon*).

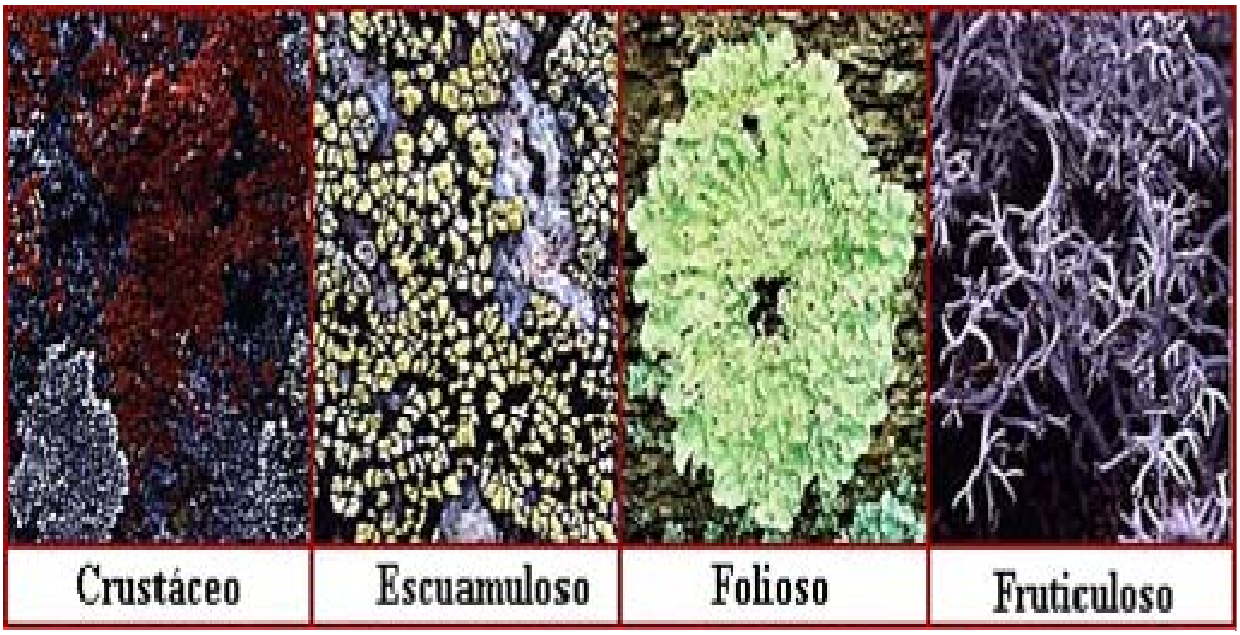


Figura 1. Tipos Morfológicos de Líquenes.

2. 4. 4. 2. Elementos de fijación.

Los talos se fijan al sustrato mediante estructuras especiales como son: discos de fijación, rizinas, cordones rizinales y venas. Pueden además llevar en el margen cilios o fibrillas. Existen talos que se adhieren por toda su superficie otros lo hacen solamente por la región central.

2. 4. 4. 3. Elementos de aireación.

En la mayoría de los líquenes, el intercambio de los gases y sustancias se realiza por todo el talo. Algunos talos foliosos presentan estructuras especiales que ponen en contacto con el exterior los estratos más profundos, son las cifelas, pseudocifelas, poros y puntas.

2. 4. 4. 4. Estructuras reproductivas.

La mayoría de los líquenes, sobre todo el grupo de Ascomycetes liquenizados, tienen un ciclo de vida sexual (fase teleomorfa) y asexual (fase anamorfa), mientras que los no liquenizados tienen estas estructuras sobre individuos diferentes.

En el talo liquénico usualmente sólo el micobionte se expresa sexual y asexualmente. El modo reproductivo del fotobionte es reducido en el estado liquenizado. Es decir, la reproducción de los líquenes consiste únicamente en la del hongo; el alga-gonidio no hace más que multiplicarse vegetativamente en el interior de los talos.

El mayor problema en el proceso de liquenización, es la necesidad por parte de las esporas del hongo de encontrar su propio patrón fotosintético y poder así restablecer la simbiosis.

Las **estructuras reproductivas asexuales** pueden ser:

- *Simbióticas*, generalmente son porciones pequeñas del talo o estructuras que se originan sobre él, repitiendo el patrón simbiótico. De acuerdo a las características que presentan se clasifican en: soralios, soredios, isidios, pseudoisidios, lóbulos, bulbillos, entre los más comunes. La efectividad de estas formas de reproducción asexual está asegurada porque se separan algas e hifas del hongo. Muchos grupos de líquenes presentan fructificaciones sexuales productoras de esporas, y en algunas regiones con algas, éstas se dispersan junto con las esporas; son considerados evolucionados.

- *Aposimbiótica,* originadas por el hongo como ocurre con las esporas asexuales como conidios que se producen en diferentes coniodiomas como son los picnidios, campilidios, esporodoquios, hifóforos; u originadas por las algas, que no son las más comunes, pero se conocen estados flagelados y hormogonios.

Todas ellas constituyen buenos caracteres específicos.

En las **estructuras reproductivas sexuales** la forma de reproducción es la misma que presentan los hongos no liquenizados. En los Ascoliquenes el ascocarpo está compuesto de hifas ascógenas e hifas haploides sobre la base del ascogonio, las hifas y las ascas se desarrollan de hifas ascógenas. El himenio está formado por ascas y paráfisis estériles.

Los ascocarpos se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- Apotecios: cuerpos en forma de copa o disco abierto en cuyo interior se encuentra el tejido fértil que contiene las ascas y esporas.

- Peritecios: ascocarpos en forma de botellas que pueden estar hundidos o elevados en el talo.

- Histerotecios: se agrupan aquí a todos los cuerpos reproductivos sexuales que presentan forma alargada, lineal o ramificada. [57].

Los primeros estados del desarrollo de un liquen han sido descritos, en especial por Bornet (1873) y Bonnier (1889). No sucede lo mismo con los estados siguientes, en el curso de los cuales se elabora la estructura propia de cada tipo de talo. Estos estados fueron descritos más adelante, en particular por Werner (1931), en *Xanthoria parietina*.

Al principio del desarrollo, las hifas nacidas de la germinación de las esporas se deslizan sobre el sustrato buscando algas *Cystococus*, las rodean y terminan por aislarlas (hifa de retención). Algunas hifas crecen y van a buscar nuevas algas (hifas buscadoras). Este conjunto, sin forma definida, se condensa después y da lugar a una pequeña masa redondeada de estructura homómera, formada por un entrecruzamiento de hifas de algas, que constituye el estado *prototalo*. Después, el

talo empieza a organizarse con una estructura heterómera. Posteriormente, se define el córtex superior, la capa gonidial y la médula; así como el córtex inferior, que constituye el estado *talo primario*. El talo se desarrolla en anchura y se despega parcialmente del sustrato. En dos meses, el talo joven ha tomado la forma foliácea, que corresponde al estado *talo secundario* y ya no crecerá más.

A principios del octavo mes, forma ya una roseta de 5-6 mm; y, a principios del segundo año, alcanzará un tamaño de varios centímetros y fructificará.

Todos los líquenes comienzan su desarrollo de la misma manera, con un prototalo homómero. Esta estructura, pasa a ser definitiva en la mayor parte de los líquenes gelatinosos (tipo *Collema*). En los otros, el desarrollo se continúa por adquisición de un talo secundario heterómero. Las especies foliáceas y crustáceas, polarizan su desarrollo horizontalmente; las especies fructiculosas, verticalmente.

Pero, en muchos líquenes, la multiplicación vegetativa predomina sobre la reproducción. Se hace por fragmentación del talo, por propagación de soredios, o por separación de isidios. Sin embargo, muchas especies comunes, raramente producen ascocarpos y se multiplican con frecuencia, únicamente, por vía vegetativa. En este caso, la simbiosis con una raza o variedad de alga determinada jamás se interrumpe, lo que puede explicar la homogeneidad de los gonidios en una población localizada de talos estériles de la misma especie.

2. 4. 4. 5. Velocidad de crecimiento y duración.

La velocidad de crecimiento de los talos, según las especies, es muy variable. Generalmente es lenta, del orden de 10-15 mm, por año para algunas especies (*Cladonia alpestris*); de 1 a 2 cm., por año para otras, (*Cetraria islandica*). El tamaño normal con producción de fructificaciones se alcanza en tiempos igualmente muy variables, pudiéndose cifrar entre 2 a 3 años y 10 a 15 años.

Debe señalarse que, una vez que el talo ha adquirido el tamaño normal, no crece más que ligeramente; y puede incluso, quedar invariable durante un tiempo

considerable. Así que, para especies especialmente longevas, éste puede rondar los cien años. Algunas especies fructiculosas, laxamente fijadas al suelo, como las *Cladonia* del grupo *Cl. Rangiferina*, mueren por la base al alcanzar cierto tamaño y los Esfagnos, que se desarrollan indefinidamente por sus extremos, permaneciendo de un tamaño invariable.

2. 4. 5. Nutrición.

Los líquenes obtienen una buena parte de su alimentación de la atmósfera. En el siglo pasado, se pensaba que está era la única fuente de su metabolismo.

En realidad, también consiguen nutrientes del sustrato: el agua, la nutrición carbonada, los intercambios gaseosos, y la nutrición mineral.

2. 4. 5. 1. Agua.

Los líquenes sufren grandes oscilaciones en su contenido en agua. En tiempo seco, se hacen coriáceos y frágiles. En tiempo húmedo, y después de la lluvia, se saturan de agua y recobran su flexibilidad. El máximo contenido en agua del talo, está en función de sus constituyentes. En los líquenes heterómeros no gelatinosos, el contenido máximo es de alrededor de 2 gramos de agua por gramo de materia seca, lo que corresponde a un 56% del peso total. Es incluso superior para los líquenes gelatinosos y puede alcanzar 35 veces el valor de su peso seco. Después de una fuerte insolación, en un entorno de aire seco, el contenido en agua del talo es del orden de 2 a 8,9% del peso total.

Las fuentes de humedad son, por una parte, el agua meteórica, y por otra, el agua del sustrato. El vapor, incluso a saturación, se absorbe lentamente. En cambio, en contacto con agua líquida (lluvia, rocío, niebla), la saturación del talo se alcanza en pocos minutos.

2. 4. 5. 1. 1. Absorción del agua.

En los líquenes es un fenómeno más que nada fisiológico, es decir, que la materia viva de las hifas o de los gonidios interviene muy poco, mientras predomina la acción de las fuerzas capilares y de inhibición de las sustancias inertes ávidas de agua. Esto se ha demostrado mediante curvas de absorción establecidas sobre ejemplares vivos y, por otra parte, sobre viejos ejemplares muertos de herbario. Dichas curvas son muy semejantes para un mismo tipo de talo. El agua contenida en los talos es, pues en su mayor parte, agua de inhibición.

Los líquenes no poseen órganos especiales para la absorción de agua, y ésta se realiza por toda la superficie del talo. Si la absorción es rápida, la circulación de un extremo a otro del talo es muy lenta y prácticamente nula. Esto se presenta sobre todo, en las especies fructiculosas, tipo *Usnea*, que sólo están en contacto con el sustrato por uno de sus extremos. Para humedecer la totalidad del talo, éste debe tener toda su superficie en contacto con una fuente de humedad.

2. 4. 6. Nutrición Carbonada e Intercambios Gaseosos.

La nutrición carbonada se hace, sobre todo, a partir de la atmósfera. A continuación se describen los intercambios gaseosos entre ésta y los talos.

2. 4. 6. 1. Respiración.

En condiciones normales de humedad y temperatura; así como en completa oscuridad, el cociente respiratorio CO_2 / O_2 varía relativamente poco de una especie a otra. Todas desprenden menos CO_2 con respecto al O_2 absorbido. En los líquenes no gelatinosos, este cociente oscila entre 0,69 y 0,89. Este es un valor equivalente al que se encuentra en los hongos.

En las especies gelatinosas, en las que el alga simbiótica domina sobre el hongo, la relación desciende alrededor de 0,60, cifra equivalente a la que se encuentra

en las algas libres que pertenecen a los mismos grupos que las algas-gonídicas. Los líquenes se comportan, pues, desde el punto de vista de cociente respiratorio, como su componente dominante considerado aisladamente.

El estado de inhibición del talo influye mucho sobre la respiración. En estado seco la respiración es muy débil, sin ser nula. A temperaturas bajas, la respiración disminuye rápidamente. Se ha podido determinar en *Anaptychia ciliaris*, a –10ºC. A temperaturas superiores desaparece, salvo raras excepciones. A temperaturas altas, la respiración puede aún manifestarse cierto tiempo, ha podido observarse en *Evernia prunastri*, después de 5 horas a 60º.C

La respiración no es igual en todas las partes de los talos heterómeros, en *Peltigera polydactyla*, la respiración es más activa en la capa gonidial que en la médula y ésta actividad puede estar en relación de 2 para la capa gonidial y de 1 para la capa medular.

2. 4. 6. 2. Asimilación.

El estado de inhibición del talo tiene una gran importancia, tanta como la respiración. Pero por debajo del óptimo de inhibición, la asimilación disminuye más rápidamente que la respiración.

La asimilación puede mostrarse activa aún a temperaturas en que la respiración ya ha cesado, se manifiesta inclusive a –40ºC en *Evernia prunasti*. Los líquenes resisten bien el frío, y son capaces de manifestar cierta actividad a las temperaturas en las que la de las plantas vasculares ha cesado.

En cambio, a temperaturas altas el comportamiento de los líquenes no es diferente al de las plantas superiores; la asimilación cesa de manifestarse después de pasar un día a 45ºC, una hora a 50ºC y media hora a 60ºC. Parece pues, que el alga-gonidio se altera por las altas temperaturas antes que el hongo, ya que la respiración se manifiesta todavía cuando la asimilación ya ha cesado.

El valor de la asimilación en función de la luz es muy variable, dependiendo de las especies- Es preciso, además, tener en cuenta la existencia de un córtex o de su equivalente por encima de la capa gonidial, y de su pigmentación; es necesario que el córtex disminuya una parte importante de la luz que recibe el talo. Se observa que el córtex embebido de agua, es más translúcido que en estado seco.

Se ha calculado, por ejemplo en *Peltigera praetextata* que, en un talo mojado, llega el 73% de la luz recibida por el talo hasta la capa gonidial; pero sólo el 54% en un talo seco. La retención de la luz por el córtex del talo de los líquenes es mayor que en la realizada por la epidermis de las hojas de las plantas superiores. Sin embargo, de la totalidad de la luz que llega a las algas-gonidios, sólo una cantidad del orden del 30% es absorbida por la fotosíntesis; es decir, inferior a la absorbida por el tejido clorofílico de las plantas superiores. Esto puede explicar la lentitud del crecimiento de los talos liquénicos.

El córtex desempeña pues, un papel preponderante, no sólo en la absorción y retención del agua en el talo; si no que también hace de pantalla en relación con la luz, lo que permite a los líquenes vivir en condiciones en las que el alga sola no podría vivir.

Además, los líquenes pueden también obtener sustancias carbonadas de su sustrato. Algunas especies tienen una notable preferencia por las maderas viejas a cuya descomposición contribuyen. Otras, la mayoría crustáceos, como *Doploschistes scruposus*, *Pertusaria*, o *Cladonia*, incrustan sus talos en musgos o incluso en los de otros líquenes y los destruyen, necrosando sus tejidos por el ataque de las hifas.

2. 4. 7. Nutrición mineral.

Las sustancias minerales necesarias para los líquenes les llegan por las mismas vías que el agua: la atmósfera y el suelo.

La lluvia contiene disueltas sales minerales, como magnesio, potasio, sodio, calcio; y también fuentes de nitrógeno, amoniacal o nítrico.

El polvo que el viento transporta y deposita sobre los talos o sobre el sustrato, constituye también una importante fuente de su alimentación mineral; en especial, las polvaredas de los caminos cercanos a habitáculos humanos, que son ricas en nitrógeno y en fosfatos.

Ciertos líquenes buscan las rocas bañadas de excrementos de aves (especies ornitocoprófilas), a causa de su gran riqueza en nitrógeno. En todos los casos, el agua de lluvia, al correr sobre el sustrato, disuelve las sustancias minerales y las aporta a los talos.

En las últimas décadas, se ha puesto en evidencia la capacidad que presentan las Cianofíceas, y en especial el *Nostoc*, de fijar nitrógeno atmosférico. Se puede prever que los gonidios Cianofíceos de los talos y de los cefalodios, poseen la misma capacidad. La prueba de este hecho se basa en la utilización de nitrógeno marcado (N15) que ha sido absorbido efectivamente por líquenes con conidios cianofíceos (*Collema*, *Leptogium*, *Peltigera*); en cambio, no ha podido ser puesta en evidencia ninguna absorción en una *Cladonia*, que contiene gonidios clorofíceos.

Los cefalodios, que siempre contienen gonidios cianofíceos, juegan pues, un papel importante en la alimentación nitrogenada, en los líquenes a los que pertenecen, cuando el gonidio normal del talo es una clorofícea.

La corrosión del sustrato calcáreo e incluso, de algunos elementos silíceos, por parte de los líquenes crustáceos, también contribuye a su alimentación mineral.

2. 4. 8. Relaciones alimentarias entre simbiontes.

Aunque se sabe poco de este aspecto, es cierto que, el alga al ser menos autótrofa, suministra glúcidos a las hifas del hongo heterótrofo. En el caso de los gonidios cianofíceos y de presencia de cefalodios, hay un intercambio de sustancias

nitrogenadas entre estos organismos fijadores de nitrógeno atmosférico. Existe también la posibilidad de un intercambio de vitaminas entre los dos simbiontes, como lo sugieren los cultivos puros.

Por otra parte, estos mismos cultivos puros han mostrado que tanto el alga como el hongo pueden obtener una parte de su sustancia carbonada del sustrato, lo cual puede variar dependiendo del tipo de talo.

Un talo foliáceo, o mejor crustáceo, con amplio contacto con el sustrato, obtiene una gran cantidad de nutrientes; mientras que en el caso de un talo fructiculoso, unido únicamente por un extremo al sustrato, tendrán unos aportes mínimos. La intensidad de los intercambios entre los dos simbiontes en el interior del talo, es diferente en ambos casos.

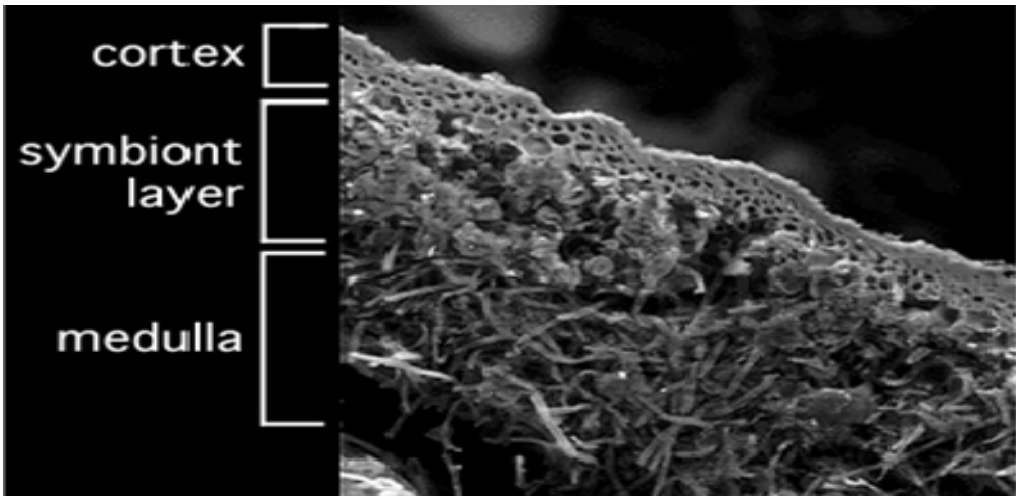


Figura 2. Talo de Líquen.

2. 4. 9. Hábitat.

Los líquenes pueden colonizar los sustratos más diversos, aproximadamente el 8% del total de la superficie terrestre está ocupada por líquenes como vegetación dominante. Han sido hallados sobre plásticos y vidrios. Presentan una gran resistencia a factores ambientales adversos o extremos, como frío, calor o desecación.

De acuerdo al sustrato donde se encuentran se denominan:

- **Cortícolas:** que crecen sobre la corteza de los árboles.
- **Saxícolas:** que crecen sobre rocas. Considerando aquí las especies endolíticas.
- **Terrícolas:** ubicados directamente sobre la tierra.
- **Muscícolas:** encontrados sobre musgos.
- **Humícolas:** hallados sobre hojas muertas.
- **Liquenícolas:** hallados sobre otros líquenes, en este caso se denominan parasimbiontes.
- **Foliícolas:** encontrados sobre hojas vivas.
- Encontrados sobre animales (insectos, crustáceos, perezosos, ranas, etc.), que en su mayoría los utilizan para mimetizarse.

2. 4. 10. Distribución.

Los líquenes crecen muy lentamente y se adaptan a condiciones de hábitat muy variadas, por ello colonizan todas las zonas climáticas de la tierra; podemos encontrarlos desde el Ecuador a los Polos, y desde el nivel del mar hasta las cumbres más altas.

- **Cosmopolitas:** *Calicium sp., Cladonia sp., Parmeliaceae*

.

- **Endémicas:** *América del Sur: Lepolichen sp., Omphalodium sp., Protousnea sp., Lethariella sp., Nimisia sp., Placoparmelia sp., Omphalodiella sp.*
- **Austral:** *Degelia sp., Nephoma sp., Pseudocyphellaria sp., Stereocaulon sp.*

- **Bipolar:** *Alectoria sp., Leptogium sp., Xanhtoria sp.*

- **Paleotropical:** *Psis sp., Xanthoparmelia sp.*

- **América-Asia***: Cecococcarpia sp., Bulbotrix sp., Cetrariastrum sp.*

- **Australiana***: Chondrtrelia, Collema, Oropogon.*
- **América-África***: Caloplaca sp., Umbilicaria sp.*

2. 4. 11. Usos e importancia económica.

Han sido utilizados en la medicina popular por sus propiedades antibióticas, sobre todo aquellos líquenes que producen ácido úrico, como los representantes del género *Usnea*. [8].

A continuación, se expresa la distribución de porcentaje de sustancias liquénicas con diferente tipo de actividad farmacológica: 2% de los ácidos se han

probado con efecto antiinflamatorio, 13% son antitumorales, un 28% actúan como antimicóticos y un 57 % han sido probados como antibióticos. [156].

Hay líquenes comestibles, que representan parte importante de la dieta de ciertos grupos esquimales y siberianos; otros se emplean para alimentar animales, como *Cladonia rangiferina* o liquen del reno, incorporado a la nutrición de este rumiante en algunos países de Europa y América. Otros se emplean en la preparación de colorantes, como el Tornasol. Ejemplos: *Cetraria islandica, Umbilicaria sp.* y *Lecanora esculenta* que es considerado el maná Hebreo.

Se utilizan también con propósitos industriales, como productores de colorantes, en perfumería y en decoración.

2. 5. Bioindicadores liquénicos.

En la actualidad, se utilizan como indicadores de contaminación ambiental, ya que, en lugares con contaminación elevada, son los primeros organismos que desaparecen. Son muy susceptibles y registran rápidamente las variaciones de los caracteres físicos y químicos del ambiente. Existen pocas familias que pueden permanecer en lugares muy contaminados. [69].

La investigación de la diversidad liquénica y la química secundaria de numerosas especies y géneros liquénicos han permitido desarrollar líneas en quimio-taxonomía, ecoquímica, ecofisiología, contaminación atmosférica y actividad biológica de metabolitos liquénicos.

En la década de los 80, del siglo XX, se inició una serie de estudios con el propósito de conocer la capacidad adaptativa de estos organismos teniendo como base las observaciones de terreno sobre los hábitats y distribución de los líquenes, el conocimiento de las tasas de acumulación de los productos secundarios en especies seleccionadas, la variabilidad de las concentraciones de los productos liquénicos en tejidos de diferente edad y las hipótesis existentes sobre el tema. Los estudios

termodinámicos, foto físicos y fotoquímicos han permitido demostrar, de manera concluyente, que los metabolitos liquénicos exhiben propiedades filtrantes y fotoprotectoras de radiación UVA y UVB. Los metabolitos tienen, además, propiedades antioxidantes. Basados en estos resultados, se ha formulado un modelo biológico para evaluar cambios en los niveles de radiación UV, incrementada en las últimas décadas por la disminución del ozono atmosférico, utilizando los líquenes como biomonitores de este cambio global. [177].

Los líquenes y otros vegetales inferiores son muy sensibles a la lluvia ácida y a todo tipo de contaminación del aire. A medida que nos acercamos desde bosques lejanos hacia el centro de grandes ciudades, los líquenes van desapareciendo. Los escandinavos han realizado mapas de ubicación de líquenes de acuerdo con la contaminación del aire en donde viven. [96].

Evaluar la calidad del aire con el empleo de bioindicadores, ha resultado ser útil y económico, Las investigaciones realizadas no se circunscriben únicamente a aprovechar los animales o plantas superiores como bioindicadores de contaminación atmosférica, sino también a las plantas inferiores o criptógamas, tales como los musgos y los líquenes que merecen una consideración especial debido a que estos vegetales presentan una sensibilidad extremadamente alta a los contaminantes atmosféricos [180].

La determinación de elementos traza utilizando líquenes, ha resultado muy útil cuando se estudian áreas extensas, y evita el uso de costosos y aparatosos aparatos de medición de muestreadores de aire.[41].

A pesar de que las complejidades de las interacciones entre los organismos vivos y el medio ambiente, no se han comprendido en su totalidad, [168], [200], se han observado muchas ventajas en la utilización de líquenes comparado con la medición directa de los contaminantes. Los líquenes son comunes en las áreas de estudio, son fáciles de recolectar, pueden proporcionar información integral de los cambios

producidos en el entorno, ser estables con respecto al tiempo, y no representan gastos excesivos y tampoco la necesidad de personal altamente capacitado en su manejo.

Por el otro lado, los líquenes absorben constituyentes de las deposiciones, seca y húmeda, de manera más o menos constante, y excretan la menor cantidad posible de ellos, durante todo su tiempo de vida. [152].

En relación a las ventajas que presentan las mediciones directas con filtros de aire, las concentraciones pueden relacionarse directamente con los metros cúbicos de aire, mientras que con los líquenes, obtenemos mediciones cualitativas que relacionan la concentración de los contaminantes, con las masas de aire que los rodean. Pero, por otra parte, las fluctuaciones en las masas de aire circundantes, afectan pronunciadamente a los filtros de aire, mientras que los líquenes los acumulan de manera constante. [51].

En resumen, los líquenes acumulan sustancias a concentraciones que exceden en muchos casos sus requerimientos fisiológicos y toleran estas altas concentraciones, transformándolos en cristales de oxalatos y ácidos complejos.[98].

Debido a que las concentraciones de elementos traza, encontrados en el talo liquénico, están directamente relacionados con los niveles ambientales de esos elementos, los líquenes son muy útiles para monitorear los patrones de deposición de estos elementos de forma total o temporal.[165].

La mayoría de los estudios de líquenes como bioacumuladores, han sido realizados en áreas urbanas o altamente industriales, aunque también existen algunos realizados en áreas remotas, aunque en menor proporción.

Por lo tanto, para cualquier estudio de bioindicación, debe contarse con referencias de la composición elemental “natural”, para muestras tomadas en áreas tanto muy contaminadas, y en aquellas en la que se presupone la mínima contaminación posible.[20].

Con la disponibilidad y aplicación de técnicas analíticas adecuadas, el uso de líquenes como bioindicadores no es tan limitado; establece zonas de calidad aérea urbanas que predicen niveles de contaminantes gaseosos del aire. Los líquenes actúan como integrales y proporcionan por consiguiente cada vez más información cuantitativa, así como los datos de precipitación de una amplia gama de emisiones tanto urbanas, industriales y aquellas provenientes de fuentes de agricultura.

2. 5. 1. Mecanismos de acumulación.

Los líquenes acumulan substancias de su ambiente por una variedad de mecanismos, atrapamiento de partículas, intercambio de iones, absorción de electrólitos extracelulares, hidrólisis, y captación intracelular.

El intercambio de iones requiere que el liquen esté húmedo, para que los elementos estén en forma iónica. La captación de iones metálicos por intercambio de iones, es pasiva y rápida y obedece principalmente a la masa y al equilibrio de cargas.

Las especies de líquenes poseen diferentes capacidades de captación de iones; así como diferente eficacia de la morfología de su superficie para atrapar partículas. Esto subraya la importancia de la identificación correcta de las muestras del liquen que se utilicen y demuestra la conveniencia de recolectar las mismas especies para el análisis en todos los sitios en prueba.[180].

Las características que morfológicamente contribuyen a atrapar partículas, incluyen la micro topografía del liquen, y la disponibilidad de una gran superficie del liquen, lo que puede ser el resultado de talos delgados y ramas, o proyecciones de talos.

2. 5. 2. Efectos de la contaminación sobre los líquenes.

En algunos líquenes sometidos al contacto con contaminantes atmosféricos se han detectado alteraciones a nivel del organismo entero, en talos clasificados según

tamaño y fertilidad, palidez y circunvolución del talo, e incluso reducción en el número de células del alga en el talo; así como el cambio estructural de ciertas especies sensibles. Algunos efectos microscópicos y moleculares descritos en bibliografía incluyen, la degradación de los pigmentos fotosintéticos, la alteración de la fotosíntesis y la tasa de respiración, así como, la elevación en el volumen de metales pesados en el talo; con lo que se concluye que las exposiciones agudas pueden ser de importancia primaria determinando la supervivencia de líquenes en áreas industriales.

2. 5. 2. 1. Efectos del Dióxido de Azufre.

Los dióxidos de azufre son considerados un factor de la causa de muerte en los líquenes en la mayoría de las áreas urbana e industrial. En general los líquenes fructiculosos son más susceptibles al SO_2 que muchos foliosos y especies crustáceas. Los efectos observados del SO_2 incluyen la disminución en la respiración de la fotosíntesis y aumentos de entrada de K^+ en la membrana permeable, iones perdidos, así como cambios estructurales.

La mayoría de los líquenes no pueden sobrevivir por extensos periodos a la exposición de SO_2 en concentraciones >= 60 mg/m^3. Los daños al componente del alga son evidentes en los talos debido a su decoloración. El talo entero se muere y poco después se dañan las células del alga (Sano 1981, Wetmore 1985). El pH bajo, aumenta la acción de toxicidad del SO_2 (Farmer y col., 1992). (Nieober y col., 1979).

Existen estudios en las islas Británicas, que dicen que el liquen *Usnea* estaba muy extendido hasta aproximadamente una altura de 1800 metros; sin embargo, cuando hubo un aumento de los niveles de dióxido de azufre, desaparecieron de un área que cubre unos 70.000 km^2. Hoy en día, el liquen *Usnea* se ha reestablecido en árboles como fraxinus y salix, ya que estos árboles tienen corteza con un pH más alto que la mayoría de los otros.

En general hay tres mecanismos por los que el SO_2 ejerce efectos tóxicos en los talos del liquen. A niveles de contaminación bajos, pueden activarse sistemas enzimáticos dentro del talo. Esto puede observarse como aumentos en la glucosa-6-

fosfato, en la actividad de la deshidrogenasa, o en los niveles de glutatión y proteína del SH total. La actividad enzimática elevada puede usarse como un bioindicador para indicar una lesión no-visible e intoxicación por SO_2 (Rabe y Kreeb 1980, Miszalski & Zeigler, 1979).

A niveles más altos de SO_2 las enzimas activadas por modificación química (sulfitólisis), reducen la actividad metabólica y ocasionan la pérdida de integridad de la membrana (Zeigler 1975 y 1977, Nieober y col., 1976). [16].

2. 5. 2. 2. Efectos del Óxido de Nitrógeno.

Aunque no se han establecido niveles de concentración de NO_x tóxicos para los líquenes, el NO_2 y otros compuestos del nitrógeno son componentes de lluvia ácida y foto oxidantes. La misma contaminación que afecta a las especies sensibles de bosques antiguos, sobre todo a las cianobacterias; los fotobiontes pueden ser dañados por la lluvia ácida.

Especies sensibles como la *Lobaria,* parece estar desapareciendo de muchas regiones, como es el caso del *Lobaria scrobiculata* en el sur de Suecia que afecta a más de 300 localidades.

Incluso la lluvia ácida débil, afecta la capacidad de protección de la corteza del árbo, al punto donde el pH de la superficie de la corteza cae significativamente. Esto puede evitar la germinación de esporas de *Lobaria* o el crecimiento del cianobacteria y así afectar seriamente la regeneración del talo.

Algunos estudios dicen que las especies tolerantes a la lluvia ácida no son las mismas que las tolerantes al SO_2, que crecen en la corteza de pH bajo. Por ejemplo, la *Parmelia sulcata* es tolerante al SO_2, pero no lo es a la lluvia ácida (Gilbert 1986).

El componente del nitrógeno de la lluvia ácida puede producir un efecto de fertilizante en los líquenes y causa cambios en ellos. Sochting (1990) inspeccionó el volumen de nitrógeno en el tejido de líquenes en Dinamarca.

En áreas limpias, los niveles del tejido estaban en un rango del 0.26 - 0.49%, mientras que en áreas húmedas de acidez depositada, los valores podrían encontrarse entre 0.70 - 0.73% con una lesión visible. Sin embargo, el problema de definir cargas críticas para nitrógeno no está resuelto.[186].

Los efectos de la lluvia ácida en la estructura y fisiología del liquen incluyen una disminución en la fijación del nitrógeno, fotosíntesis, crecimiento, y cambios en la estructura celular (Belnap y col. 1993).

Hutchinson y colaboradores, en 1986, trataron a especies como la *Cladina rangiferina* y *Cladina stellaris* con lluvia ácida artificial por más de cinco años; encontrando que, a un pH de 2,5, la clorofila nivela la reducción de la fotosíntesis, hay disminuciones en el peso seco y la altura del podecio del talo de ambas especies. No se observó ningún efecto a pH= 3. Cuando se aplicó ácido sulfúrico, sólo se observó una reducción significativa exclusivamente en el peso seco.

2. 5. 2. 3. Efecto de las Toxinas Fotoquímicas.

Están asociadas generalmente con la combustión de automóviles en las ciudades, y con la quema de combustibles fósiles. En este grupo están el ozono y el peroxiacetilnitrato.

Los umbrales de toxicidad fotoquímica para los líquenes son un tema polémico. Parte de la dificultad para establecer la sensibilidad del liquen al ozono, ha sido encontrar áreas de estudio donde las concentraciones de ozono sean elevadas en momentos del día en el que los líquenes sean metabólicamente activos.

Algunos efectos del ozono observados por investigadores son: disminución en la fotosíntesis, reducción en su distribución geográfica, así como, cambios estructurales y morfológicos. [66].

Estudios de campo en Los Ángeles (Neel 1988, Sigal & Taylor, 1979 y Sigal & Nash, 1983) muestran una correlación amplia entre la pérdida del liquen y los aumentos en fototoxinas en los últimos 80 años; sin embargo, las fototoxinas son difíciles de investigar, porque se producen sobre grandes áreas en concentraciones bajas y tienen efectos a largo plazo o crónicos en líquenes.

El ozono parece tener un pequeño efecto visible en líquenes a la orilla del camino (Lawry & Sano 1979). Las comunidades de líquenes en Indianápolis eran insensibles a las diferencias en los niveles de ozono. [32].

2. 5. 2. 4. Efectos de Contaminantes Metálicos.

La habilidad de los líquenes de acumular altos niveles de varios metales y otros elementos, los ha llevado a ser excelentes bioindicadores de la precipitación radioactiva atmosférica alrededor de fuentes de contaminación aisladas, como las estaciones generadoras de electricidad, fundiciones, áreas mineras abandonadas.

Recientemente, en Budapest y en varias partes de Suiza, se ha comprendido la ventaja de combinar datos de la distribución del liquen, con análisis de contaminantes.

La eficacia del sistema de captación del metal del liquen se ha observado en muestras de *Parmelia* de un área cercana a un afluente del río Calvasieu en Lousiana, las cuales fueron recolectadas durante semanas. El liquen demostró ser un bioindicador útil para una amplia variedad de contaminantes, incluyendo Zn, Cu, Cr, Ni, Fe, Mn y Hg.

En general, los líquenes pueden acumular altos niveles de elementos metálicos sin un exhibir un daño evidente. Los líquenes acumulan elementos metálicos atrapando partículas insolubles, y transportando iones metálicos por medio de

procesos de intercambio extracelular de iones. Este último puede ser acompañado por una captación más lenta en las células.

Dependiendo de la naturaleza y la forma del elemento acumulado en el liquen, ocasionará daños más o menos graves, llegando incluso, a ocasionar su muerte.

Las poblaciones de líquenes se ven seriamente afectadas donde existe presencia de metales en exceso en forma soluble, o su naturaleza es muy tóxica. Por ejemplo, los daños del zinc en la corteza del árbol, debajo de los puntos del alambre armado, o en los apoyos de antenas de metal galvanizado en los tejados cubiertos de líquenes en áreas rurales. [37].

2. 5. 2. 5. Efectos de los Fluoruros.

El fluoruro es un contaminante localmente importante alrededor de las fundiciones, enladrillado, fábricas de vidrio y fertilizantes para plantas; también se encuentra en cantidades grandes en las erupciones volcánicas (Richardson 1992). Muchos líquenes son sensibles a este contaminante. En general, los daños a los líquenes empiezan a observarse a concentraciones entre 30 - 70 ppm (Gilbert 1971, Perkins y col. 1980).

La habilidad de los líquenes de acumular F^- está en función de la humedad relativa que determina las condiciones del talo. Los efectos del flúor incluyen una disminución en la respiración y en la fotosíntesis, un aumento en la permeabilidad de la membrana del talo con una pérdida concomitante de iones, y cambios en la estructura celular (Belnap y colab. 1993, LeBlanc y colab. 1971).

En un estudio realizado en los Estados Unidos, los líquenes fueron expuestos a un ambiente de F^- de 4 mg/m3 (Perkins y colab. 1980). Si se supera la concentración crítica de 30-80 ppm, los pigmentos fotosintéticos son degradados y los talos del liquen se desintegran.

Emisiones combinadas de SO_2 con HF provenientes de industrias en el Condado de Whatcom, Washington, fueron asociadas con una seria disminución de líquenes, aunque los niveles de la emisión caían dentro de límites aceptables basados en normas de salud humanas implantadas por la Agencia de Protección Medioambiental Americana (Taylor & Bell 1983).

Capítulo III:

Área De Estudio

Capítulo III: Área de Estudio.

3. Isla de Gran Canaria.

3. 1. Medio físico.

3. 2. Topografía.

3. 3. Clima.

3. 4. Flora.

3. 5. Espacios Naturales protegidos.

3. 6. Agricultura.

3. 7. Industria.

3. 8. Transportes.

- 3. 8. 1. Aeropuerto.

3. 9. Justificación de la Selección del Área de Estudio.

- 3. 9. 1. Zonas conflictivas.

3. 10. Normativa.

3. 11. Selección del área de Estudio.

- 3. 11. 1. Barranco de Tirajana.
- 3. 11. 2. Localidades de muestreo, inventarios y especies a estudio.

3.12. Ubicaciones de las Estaciones de Muestreo.

- 3. 12. 1. Estación Nº 1: Pico Tabaibas.
- 3. 12. 2. Estación Nº 2: Montaña Carboneras.
- 3. 12. 3. Estación Nº 3: Santa Lucía.
- 3. 12. 4. Estación Nº 4: Montaña Arinaga.
- 3. 12. 5. Estación Nº 5: Montaña Agüimes.
- 3. 12 .6. Estación Nº 6: Ingenio-Pasadilla.
- 3. 12. 7. Estación Nº 7: Cruz Grande.
- 3. 12. 8. Estación Nº 8: Gitagana.
- 3. 12. 9. Estación Nº 9: Aldea Blanca.
- 3. 12. 10. Estación Nº 10: Pico de las nieves.
- 3. 12. 11. Estación Nº 11: Ingenio-Cazadores.
- 3. 12. 12. Estación Nº 12: Temisas.

3. 13. Especies de Líquenes estudiadas.

3. Isla de Gran Canaria.

Isla española del archipiélago canario, situada en el océano Atlántico. Junto con las islas de Lanzarote y Fuerteventura forma la provincia de Las Palmas, integrada además por los islotes de La Graciosa, Alegranza, Montaña Clara, Roque del Este, Roque del Oeste e Isla de Lobos.

La capital de la isla es Las Palmas de Gran Canaria (ciudad más poblada del archipiélago con 381.123 habitantes, también capital de la provincia oriental (Las Palmas) y de la Comunidad Autónoma de las Islas Canarias, conjuntamente con Santa Cruz de Tenerife. Gran Canaria, con 850.391 habitantes, es la isla más poblada de su provincia y la segunda isla más poblada del archipiélago canario. (Cifra de población referida al 01/01/2011 según el Instituto Nacional de Estadística. I.N.E. Anuario Estadístico de España 2012).

Figura 3. Mapa de gran canaria.

3.1. Medio físico.

La isla de Gran Canaria es la tercera en extensión (casi1.600 km²), la tercera en altitud (1.949 metros en el Pozo de las Nieves) y la segunda en población (850.391 habitantes, INE, a 1 enero de 2011) del archipiélago canario. Se encuentra a 28º latitud Norte y 15º 35' longitud Oeste. Ha sido bautizada como "continente en miniatura" por la diversidad de su clima, su geografía, su flora y su fauna.

Tiene una forma circular con un macizo montañoso en el centro. Su altitud máxima es el Pico de las Nieves, con 1.949 metros. Destacan también algunos monumentos naturales como el Roque Nublo (1.813 metros) y el Roque Bentayga.

El 29 de junio de 2005, parte de la isla de Gran Canaria fue declarada por la UNESCO como Reserva de la Biosfera. La superficie protegida por esta declaración representa un 46% del territorio insular, además de 100.458 hectáreas de zona marina. En la isla podemos distinguir dos zonas geomorfológicas:

- Noreste (Neocanaria) De formación más reciente, donde aparecen algunos terrenos sedimentarios y de formación submarina. En esta zona encontramos terrazas y algunos conos volcánicos como la Montaña de Arucas y el Pico y Caldera de Bandama, así como otras calderas de erosión como Tenteniguada, Temisas y Tirajana. También se extienden algunos llanos. Aquí se ubican los barrancos de Telde, Guayadeque y Tirajana. En su extremo noreste se encuentra una pequeña península llamada La Isleta, unida al resto de la isla por el Istmo de Guanarteme, con las playas de Las Canteras y Las Alcaravaneras a sus márgenes.

- Suroeste (Tamarán) Es la parte más antigua de la isla, hecho que puede constatarse por la cantidad de barrancos que la surcan. A esta zona pertenece también el centro de la isla, donde encontramos las altitudes máximas. Destaca por otro lado el macizo de Tamadaba, con sus acantilados. El Risco Faneque, a pocos metros de la costa, tiene una altitud de 1.096 metros sobre el nivel del mar. En esta zona se ubican los barrancos de la Aldea, Agaete, Arguineguín y Fataga, entre otros. Cabe destacar también la reserva natural especial de las Dunas de Maspalomas, una

de las zonas turísticas más importantes de Canarias, junto con la anexa Playa del Inglés.

3. 2. Topografía.

Gran Canaria posee 33 entornos sujetos a diferentes fórmulas de preservación según recoge la Red Canaria de Espacios Naturales Protegidos, (Red Canaria de Espacios Naturales Protegidos - Gran Canaria), entre los que destacan el Parque Rural del Nublo, la Selva de Doramas, el Barranco de Azuaje, Tamadaba, Pino Santo, Inagua, etc.

Los roques son formaciones volcánicas de tipo rocoso que se erigen en el paisaje: destacan el Roque Nublo, con 1.813 m de altitud (símbolo de la isla) , el Cura (también conocido como El Fraile), La Rana, El Dedo de Dios, (a finales de 2005, la acción de los fuertes vientos que trajo consigo la Tormenta tropical Delta y que arreciaron durante la tarde del 28 de noviembre, ocasionaron el derrumbe y posterior hundimiento bajo el mar, de la parte superior y más débil del roque, de unos veinte metros de altura. Se trataba de la parte más característica del monumento natural, puesto que era la que venía a conformar el *dedo índice de Dios*.), Bentayga, el Roque de Gando, y el Peñón Bermejo.

Algunas playas de la isla son Maspalomas, Playa del Inglés, playa de Las Canteras, Puerto Rico, La Laja, San Agustín, etc.

3.3. Clima.

Gran Canaria presenta una gran diversidad climática, debida tanto a la gradiente altitudinal como al efecto de los vientos alisios, que originan acusadas diferencias paisajísticas entre barlovento y sotavento. La capital insular, Las Palmas de Gran Canaria, es considerada la ciudad con el mejor clima del mundo según un estudio de la Universidad de Siracusa (Nueva York). Por su parte, Mogán, al sur de la isla, es el lugar de la Unión Europea con más días despejados.

El clima grancanario hace que la diversidad ecológica sea notable: la isla cuenta con más de cien endemismos vegetales, así como con otros quinientos compartidos con el resto de las Canarias.

3.4. Flora.

Como en las demás islas canarias de mayor altura, en Gran Canaria también se produce una estratificación en pisos de vegetación. Es visita recomendada el Jardín Botánico Viera y Clavijo, o Jardín Canario, para observar una muestra de esos diferentes pisos de vegetación. En Gran Canaria se distinguen los siguientes:

• **Cardonal - Tabaibal**: 0 – 800 m. El cardonal-tabaibal es un estrato semidesértico, con pocas precipitaciones. Se caracteriza por la presencia de un matorral xerófilo de especies del género *Euphorbia* como el cardón, varios tipos de tabaibas como la tabaiba dulce o la tabaiba salvaje y los verodes entre otros. Además se dan otras muchas especies, entre las que destacan especies arbustivas que pueden alcanzar varios metros de altura como los balos y los tarajales.

• **Piso de Transición o Bosque Termófilo**: 200 - 500 a 1000 m, dependiendo de la orientación. Se trata de una zona con mayor grado de humedad y precipitaciones y una menor insolación. Se caracteriza por especies termófilas arborescentes como palmeras, dragos, acebuches, lentiscos, almácigos, sabinas y otros endemismos macaronésicos como mocanes y barbusanos, y exclusivamente canarios como los guaidiles.

Aunque se trata de una zona muy antropizada, existen aún buenas representaciones de este tipo de vegetación en sitios como el Barranco de los Cernícalos.

• **Laurisilva y Fayal- Brezal (Monteverde)**: 500 - 1.200 m. Se trata de un bosque ombrófilo, denso y de grandes árboles presente en el norte de las islas, que se hace posible gracias a las condiciones hídricas que proporcionan el mar de nubes y la lluvia horizontal. Las especies vegetales superiores que abundan son laureles, tiles,

viñátigos, barbusanos, otras arbustivas menos exigentes como las fayas y los brezos, y otras de menor tamaño como el bicácaro, la cresta de gallo, y una gran variedad de helechos. En Gran Canaria, debido a la presión antrópica, sólo quedan algunos reductos protegidos de laurisilva y de fayal-brezal en lugares como Los Tilos de Moya y el Brezal de Santa Cristina. Se trata de los restos de un antiguo bosque de laurisilva, muy extenso en el pasado, conocido como la Selva de Doramas.

• **Pinar**: 600 a 1.000 - 1.949 m, dependiendo de la orientación. El pino canario ocupa grandes extensiones, generalmente abiertas, con ejemplares de más de 20 metros, y un sotobosque casi siempre escaso, raramente asociado a otras especies arbóreas. Existe una menor influencia del mar de nubes, y una progresiva disminución de las precipitaciones en altitud. El sotobosque puede estar constituido por fayal-brezal en la vertiente norte; por retama amarilla y codesos, en la cumbre; y por escobones, jaras y jarones, en la vertiente meridional.

3.5. Espacios Naturales protegidos.

Esta es la relación de espacios naturales de la isla de Gran Canaria según el catalogo establecido por el Gobierno de Canarias. (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial del Gobierno de Canarias, Red Canaria de Espacios Naturales Protegidos- Gran Canaria).

Reservas Naturales Integrales.

• Reserva Natural Integral de Inagua
• Reserva Natural Integral del Barranco Oscuro

Reservas Naturales Especiales

• Reserva Natural Especial de El Brezal
• Reserva Natural Especial de Azuaje
• Reserva Natural Especial Los Tilos de Moya
• Reserva Natural Especial Los Marteles
• Reserva Natural Especial Las Dunas de Maspalomas
• Reserva Natural Especial de Güigüí

Parques Naturales

• Parque Natural de Tamadaba

• Parque Natural de Pilancones

Parques Rurales

• Parque Rural del Nublo

• Parque Rural de Doramas

Monumentos Naturales

• Monumento Natural de Amagro

• Monumento Natural de Bandama

• Monumento Natural del Montañón Negro

• Monumento Natural del Roque de Aguayro

• Monumento Natural de Tauro

• Monumento Natural de Arinaga

• Monumento Natural de Barranco de Guayadeque

• Monumento Natural de Riscos de Tirajana

• Monumento Natural del Roque Nublo

• Monumento Natural del Barranco del Draguillo

Paisajes Protegidos

• Paisaje Protegido de La Isleta

• Paisaje Protegido de Pino Santo

• Paisaje Protegido de Tafira

• Paisaje Protegido de Las Cumbres

• Paisaje Protegido de Lomo Magullo

• Paisaje Protegido de Fataga

• Paisaje Protegido de Montaña de Agüimes

Sitios de Interés Científico

• Sitio de Interés Científico de Jinámar

• Sitio de Interés Científico de Tufia

• Sitio de Interés Científico del Roque de Gando

• Sitio de Interés Científico de Juncalillo del Sur

La isla se encuentra dividida en 21 municipios:

• Agaete
•San Bartolomé de Tirajana
• Agüimes
• Santa Brígida
• La Aldea de San Nicolás
• Santa Lucía de Tirajana
• Artenara
• Santa María de Guía de Gran Canaria
• Arucas
• Tejeda
• Firgas
• Telde
• Gáldar
• Teror
• Ingenio
• Valleseco
• Mogán
• Valsequillo de Gran Canaria
• Moya
• Vega de San Mateo
• Las Palmas de Gran Canaria

3.6. Agricultura.

Destacan los cultivos de regadío de plátano y tomate, destinados a la exportación. El tomate se cultiva en el sureste y el suroeste, existiendo grandes propietarios que utilizan mano de obra aparcera (hasta hace pocas décadas fueron relativamente frecuentes los conflictos sociales en este sector). El plátano se cultiva en la zona norte. En las medianías se dan los cultivos de secano de cereales,

leguminosas y papas, siendo todos ellos para el abastecimiento interno. Los cultivos de medianías han sufrido un gran retroceso en las últimas décadas.

3.7. Industria.

La participación de la industria al Valor Añadido Bruto insular ha disminuido fuertemente en los últimos años, no llegando a alcanzar el 9 %, presentando una gran concentración en el municipio capitalino de Las Palmas de Gran Canaria y en los municipios de Telde y Agüimes que acumulan el 82 % del VAB de la producción industrial insular. Los municipios más rurales no superan en su conjunto, el 6 % de la producción insular.

Tradicionalmente la industria de Gran Canaria se ha especializado en actividades productivas que presentan barreras de entrada (de tipo físico, de mercado o de políticas protectoras) al comercio exterior y con estrategias basadas en actividades intensivas en trabajos poco remunerados. Destacando como subsector industrial de importancia el de captación de aguas, así como hormigón y derivados del cemento.

Por su importancia estratégica es necesario apoyar el subsector industrial encargado de la captación y obtención de agua, donde el nivel tecnológico adquirido es puntero a nivel internacional.

Es destacable la dificultad que ha tenido el desarrollo de un sector industrial potente, debido a los consabidos problemas que lleva intrínseco la fragmentación del mercado insular, la lejanía de los mercados de aprovisionamiento y de destino y la competencia de productos importados (algunos con subvenciones vía R.E.A.). Por otro lado, parece que el nuevo AIEM, pudiera aportar algún incentivo a la instalación de nuevas producciones e industrias.

Las directrices en el ámbito insular en cuanto a la localización del suelo industrial en Gran Canaria, pretenden concentrar esta actividad en los 3 municipios citados anteriormente y evitar una dispersión geográfica que no aproveche las redes

viarias existentes y la cercanía al aeropuerto y puertos de la isla, para así también aprovechar las economías de escala que genera la concentración.

Hasta 1996 sólo había cuatro municipios con suelo industrial y, a partir de este año, encontramos 10 municipios que lo ofertan en su planeamiento. Incluso en estos últimos años, los planeamientos municipales se han volcado en la carrera de disponer de suelo industrial para la localización de industrias o polígonos industriales en sus respectivos municipios.

Parece justificado mencionar en este apartado el impulso que puede suponer a este sector secundario y terciario la implantación de la Zona Especial Canaria (ZEC).

La ZEC es un régimen de baja tributación autorizado por la Comisión Europea en Enero del año 2000, estableciendo una vigencia temporal prorrogable, que inicialmente será hasta el 31 de Diciembre del año 2008.

Las entidades industriales y comerciales que se acojan al régimen especial, deberán establecerse en unas áreas determinadas. En Gran Canaria se sitúan, por ahora, en el Polígono de Arinaga, en la Zona Aeroportuaria, en el Polígono de las Majoreras (Ingenio), en El Polígono de Salinetas – Goro (Telde), en una zona delimitada del municipio de Gáldar y en el Puerto de La Luz. Sin embargo, las entidades dedicadas a realizar actividades de servicios, se podrán situar en cualquier parte del territorio canario.

Las actividades permitidas serán:

Producción, transformación, manipulación y distribución al por mayor de mercancías: Pesca; Alimentación, bebidas y tabaco; confección y peletería; cuero y calzado; papel, edición, artes gráficas y reproducción de soportes grabados; químicas, prefabricados para construcción, maquinaria y equipo mecánico; material y equipo electrónico y óptico; muebles y otras manufacturas; reciclaje; comercio al por mayor e intermediarios del comercio; envases y embalajes.

Servicios: Transporte y actividades anexas; Informáticos; Telecomunicaciones; Recursos naturales y eliminación de residuos; I+D; Formación; Consultoría; Asesoría; Publicidad; Otras Actividades Empresariales. (Cabildo de Gran Canaria).

3.8. Transportes.

Las principales vías de comunicación de la isla con el exterior son el Puerto de La Luz (en la capital), el Puerto de Las Nieves (en el municipio de Agaete, importante vía de comunicación marítima interinsular) y el Aeropuerto de Gran Canaria. Así mismo, cuenta con una excelente red de autovías y carreteras que conectan toda la isla; siendo la principal la Autopista del Sur (GC-1), con una longitud de 77.5 Km que comienza en Las Palmas de Gran Canaria y termina en el puerto de Mogán. Así pues, comunica la capital gran canaria con las poblaciones del Este y Sur de la isla. Soporta un tráfico de entre 100.000 y 135.000 vehículos en el tramo Avenida Marítima de las Palmas de Gran Canaria- Jinámar, y un tráfico de de más de 80.000 vehículos desde el Polígono de Salinetas hasta Maspalomas.

3.8.1. Aeropuerto.

Éste, antiguamente conocido como Aeropuerto de Gando, está situado a unos 20 Km. de la ciudad, en la vertiente este de la isla, entre los municipios de Telde e Ingenio.

El **Aeropuerto de Gran Canaria** (código IATA: **LPA**, código OACI: **GCLP**) es un aeropuerto español de la red de AENA situado en la isla de Gran Canaria, en la bahía de Gando, ocupando superficie de los municipios de Ingenio y Telde.

El aeropuerto forma parte del aeródromo de utilización conjunta Gran Canaria/Gando junto con la base aérea del Ejército del Aire de Gando. También, en las inmediaciones del Aeropuerto de Gran Canaria se encuentra el Centro de Control de Tránsito Aéreo de Canarias.

Se encuentra situado a una distancia de 18 kilómetros de la capital de la isla, Las Palmas de Gran Canaria, y a 25 kilómetros de los centros turísticos. Su ubicación geográfica, situado a 23 metros sobre el nivel del mar, y sus óptimas condiciones meteorológicas contribuyen a considerar al aeropuerto de Gran Canaria como uno de los más seguros, extendiéndose sus operaciones durante las 24 horas del día.

El aeropuerto de Gran Canaria es el quinto más importante de España por número de pasajeros, sólo superado por los aeropuertos de Madrid, Barcelona, Málaga y Palma de Mallorca.

Para comprender la importancia relativa de este aeropuerto frente a los cuatro anteriormente mencionados, hace falta ver que tanto Madrid como Barcelona son ciudades con una población hasta 10 veces mayor que la de la capital de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria. El aeropuerto de Málaga es el centro neurálgico aéreo de una enorme zona del sur de España. Mallorca concentra su tráfico en meses estivales, siendo el único aeropuerto de importancia del archipiélago Balear.

Por el contrario, el Aeropuerto de Gran Canaria tiene un flujo constante de pasajeros a lo largo del año, con picos en meses de verano e invierno, pese a que en sus cercanías se encuentran otros aeropuertos de importancia.

Actualmente, recibe una media de 10.500.00 pasajeros al año, siendo además uno de los pocos aeropuertos que generaron beneficios en 2011, según declaró AENA. (Memoria 2011).

Dado el intenso movimiento de aeronaves, y de tráfico generado por el movimiento de personas de y al aeropuerto, los aeropuertos son fuente de dos tipos de contaminación:

• Contaminación atmosférica, generada por los motores de vehículos y aeronaves. El mayor problema en este caso es la polución atmosférica generada por el tráfico de vehículos que vienen y van del aeropuerto.

• Contaminación acústica, generada por el bullicio del tráfico de vehículos y por las aeronaves, principalmente en operaciones de aterrizaje y despegue.

Esto se acentúa, principalmente. en grandes aeropuertos internacionales, donde las horas de la noche son las más intensas en cuanto al número de operaciones de aterrizaje y despegue.

Tales situaciones, pueden causar problemas de salud de los habitantes que viven en sus proximidades, como problemas de sueño o respiratorios. La construcción de un nuevo aeropuerto no es, generalmente, bien recibida por los habitantes que viven cerca del área escogida.

3.9. Justificación de la Selección del Área de Estudio.

El pleno del Parlamento de Canarias aprobó en años recientes demandar colaboración al Gobierno del Estado para elaborar un estudio sobre la relación existente entre los contaminantes atmosféricos urbanos y las enfermedades y muertes en las zonas metropolitanas de Gran Canaria y Tenerife.

Además, se instó a realizar una especial referencia a los municipios de Candelaria (Tenerife) y San Bartolomé de Tirajana (Gran Canaria) que acogen en sus suelos centrales de producción de energía eléctrica.

Respecto a la situación en Canarias, además de la contaminación atmosférica habitual de las grandes ciudades, hay que tener en cuenta la contaminación producida por las invasiones de polvo sahariano, que ejercen una influencia negativa sobre las patologías respiratorias.

La situación de las Islas Canarias en el eje de la franja subtropical y al oeste del continente africano, les confiere unos rasgos climáticos específicos. El anticiclón de las Azores, genera en las islas un régimen de vientos alisios, con una estructura vertical, que en su componente inferior sopla de Noreste y Norte-Noroeste. Al discurrir a nivel del mar estos vientos son frescos y húmedos y al soplar de forma casi constante de mayo a octubre, favorecen la dispersión de los contaminantes primarios emitidos en los entornos urbanos ubicados a barlovento.

A su vez, la corriente fría del Golfo de México enfría las capas de aire en contacto con el mar, por lo que el clima subtropical que correspondería por su latitud geográfica queda moderado y suavizado.

Por otra parte, la implantación del anticiclón norteafricano en superficie produce un continuado aporte de polvo desde el norte de África hacia América, pasando sobre Canarias. En verano este transporte tiene lugar a alturas considerables, afectando a ciudades costeras por deposición gravitacional desde niveles altos; mientras que en invierno, con el incremento de la altura de la capa de inversión térmica, el transporte tiene lugar en la capa límite marítima. Todas las circunstancias anteriores dan como resultado unas características particulares en la calidad del aire que respiran las personas. [108].

En Mayo de 2006 la Comisión de Medio Ambiente del Congreso de los Diputados aprobó una propuesta sobre los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud, por la que se instaba al Gobierno a realizar un estudio en colaboración con la Consejería de Sanidad y Consumo del Gobierno de Canarias, de la relación existente entre los contaminantes atmosféricos urbanos y la morbilidad y la mortalidad, en la zona metropolitana de la isla de Gran Canaria y de Santa Cruz de Tenerife.

Así, se entendió, que sería conveniente que el Gobierno de Canarias hiciera suya esta iniciativa y la extendiese además a aquellas zonas de evidente riesgo que no están incluidas dentro del ámbito de las áreas metropolitanas canarias.

Canarias, en general, ha aumentado de forma relevante sus emisiones en óxidos de nitrógeno, que proviene de la quema de combustibles fósiles, y que también está asociado a enfermedades como el asma, pudiendo además, aumentar la susceptibilidad a infecciones. Superó los límites establecidos en cuanto a la emisión de partículas en suspensión durante los años 1995-2004 y no hay una tendencia clara en la disminución de este contaminante.

Una de las principales causas del aumento de la cantidad de partículas en suspensión es el incremento del parque automovilístico, y las consecuencias van asociadas a problemas respiratorios y al aumento en la mortalidad por enfermedades cardiacas y pulmonares. Todas estas emisiones, además provocan la llamada lluvia

ácida, que provoca daños en aguas, suelos (forestales y agrícolas), bosques y en el patrimonio histórico-artístico.

En cuanto a otro tipo de contaminantes, resulta significativo que, a pesar de que el suelo rústico ha disminuido drásticamente en los últimos cincuenta años, conservando apenas 45 mil hectáreas agrícolas útiles de las cuales, menos de la mitad se encuentran en producción, Canarias es con mucho, la comunidad autónoma con un mayor consumo de plaguicidas.

Hoy en día apenas se cubre un 18 por ciento de la cuota alimentaria, y quitando los productos de exportación, sólo se alcanza un 1,6 por ciento de producción de alimentos fundamentales.

Esta pérdida de soberanía alimentaria convierte a Canarias en una región insostenible, tanto por la cantidad de energía necesaria para abastecer de alimentos a la población, como por la desertificación que supone la pérdida de la cubierta vegetal, la sobreexplotación de los recursos hídricos, la tendencia a artificializar el territorio y las consecuencias del cambio climático. La región de Murcia, Comunidad Valenciana y Canarias son las comunidades con un mayor porcentaje de superficie en riesgo de desertificación.

Los estudios realizados en 2005 y 2006 por la Consejería de Medio Ambiente del Ejecutivo canario revelaron la necesidad de acometer un plan de actuación para mejorar la calidad del aire en diferentes puntos del Archipiélago.

Pese a que en los últimos años se ha avanzado en materia de calidad del aire, lo cierto es que el elevado consumo de energía, así como el galopante incremento de los vehículos privados, ha provocado que Santa Cruz y Candelaria en Tenerife y Jinámar en Gran Canaria, sean los núcleos con la peor atmósfera del Archipiélago Canario.

Atendiendo a lo establecido en el Real Decreto 1073/2002, algunos datos con respecto a las emisiones de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxido de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono, en Canarias se excedieron límites de contaminación de material particulado y en dióxido de azufre,

pero debe tomarse en cuenta que las condiciones atmosféricas del Archipiélago pueden influir en un momento dado en estas mediciones.

3. 9. 1. Zonas conflictivas.

En Las Palmas de Gran Canaria, la zona de Pedro Lezcano registró altos índices de contaminación atmosférica; así como el entorno de Tomé Cano, Mercatenerife, Los Gladiolos, Barranco Hondo y Las Galletas, en Tenerife.

El Archipiélago canario siempre ha encontrado en el comportamiento de los vientos alisios un aliado indiscutible. De hecho, su tradicional clima cálido ha sido el motor de toda la industria turística, semilla del progreso isleño. De ahí que la importancia de estos vientos sea aún mayor: debido a que los niveles de contaminación en las Islas no son más altos gracias al papel que juegan.

La contrapartida es que "se llevan la contaminación al mar", además, se une la calima que viene del continente vecino, dando lugar a compuestos aún más nocivos. [179].

La Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial del Gobierno regional ha iniciado trabajos para evaluar la calidad del aire y la contaminación atmosférica en las Islas y para ello ha dividido el Archipiélago en ocho zonas con el fin de acometer dichos estudios con mayor profundidad y precisión.

En el Boletín Oficial de Canarias (BOC), se aprueba la zonificación para la evaluación de la calidad del aire en la Comunidad Autónoma de Canarias y recuerda que "la Directiva 1996/62/CE, del Consejo, de 27 de septiembre de 1996, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente, establece una estrategia dirigida a definir los objetivos de calidad del aire ambiente para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto, a evaluar y disponer información sobre la calidad del aire y a mantener una buena calidad del aire ambiente o mejorarla en caso necesario, fijando unos objetivos de calidad del aire, con límites para determinados contaminantes, que han de alcanzarse mediante una

planificación adecuada, adoptando para ello las medidas adecuadas que tengan en cuenta un enfoque integrado para la protección del aire, el agua y el suelo".

Las zonas concretas son: Las Palmas de Gran Canaria, la Zona Norte de la isla grancanaria (Agaete, Artenara, Arucas, Firgas, Gáldar, Moya, Santa Brígida, Santa María de Guía, Tejeda, Teror, Valleseco y Vega de San Mateo), la zona sur de Gran Canaria (Agüimes, Ingenio, Mogán, San Bartolomé Tirajana, La Aldea de San Nicolás, Santa Lucía de Tirajana, Telde y Valsequillo), la zona de Fuerteventura y Lanzarote (incluye la totalidad de los municipios de dichas islas).

Santa Cruz de Tenerife-San Cristóbal de La Laguna, la zona norte de Tenerife (Garachico, La Guancha, Icod de los Vinos, La Matanza de Acentejo, La Victoria de Acentejo, La Orotava, Puerto de la Cruz, Los Realejos, San Juan de la Rambla, Santa Úrsula, El Sauzal, Los Silos, Tacoronte, El Tanque y Tegueste), la zona sur de Tenerife (Adeje, Arafo, Arico, Arona, Buenavista del Norte, Candelaria, Fasnia, Granadilla de Abona, Guía de Isora, Güímar, El Rosario, San Miguel de Abona, Santiago del Teide y Vilaflor", la zona de La Palma, La Gomera y El Hierro (incluye la totalidad de los municipios de dichas islas occidentales).

En Las Palmas de Gran Canaria, el tráfico es el principal factor contaminante, y no sólo por la emisión de ruidos ni de gases de efecto contaminante, sino también por el grado de ocupación del suelo y su impacto sobre el paisaje, además del ozono y las partículas en suspensión. El otro polo de contaminación es el área de Jinámar, fundamentalmente por las emisiones de la central térmica de Pino Santo.

La densidad del tráfico, la central eléctrica y la desaladora de Jinámar son las principales fuentes de contaminación atmosférica que existen en la capital grancanaria.

En la evaluación realizada en 2006 (sobre datos de 2005) en el Valle de Jinámar, la emisión de partículas en suspensión sobrepasó el límite establecido en el

Real Decreto de 2002 sobre calidad del aire, que fija un máximo de 50 µg/m^3 en 24 horas, que no deberá superarse en 35 ocasiones por año. Los datos facilitados por la Consejería de Medio Ambiente del Gobierno Canario sólo dicen que se superó el límite de las 35 ocasiones, pero no aclaran el número de veces que se sobrepasó la normativa.

La Consejería de Medio Ambiente responsabiliza al polvo procedente del desierto sahariano del incumplimiento en la capital gran canaria de la normativa de calidad del aire. Añade que la elaboración de planes de actuación cuando se superan los valores límite de PM "sólo es aplicable a emisiones antropogénicas y no por calima".

El régimen de vientos de la ciudad no sólo ocasiona la “panza de burro”, ni frena la calima, también mueve la contaminación que se genera en la ciudad hacia Tafira, donde queda acumulada.

Durante mucho tiempo, la opinión pública ha pensado que el incremento de la calima era un hecho consumado. Sin embargo, el paso del tiempo ha dejado entrever otra realidad, aún no se sabe si este fenómeno irá creciendo por las transformaciones que el clima está protagonizando. De hecho, algunos autores contemplan la posibilidad de que la calima pueda ser un fenómeno cíclico, como el Niño, y que cada 5 ó 6 años se produzca un período caracterizado por fuentes episodios del polvo africano. Además, es probable que la frecuencia e intensidad de las calimas de invierno y de verano, puedan tener distintas tendencias en el futuro.

Todavía hay mucha variabilidad y según datos históricos, los veranos del 88, del 93, del 98 y el 2003 fueron de mucha calima por encima del mar de nubes. De momento, lo que se sabe a ciencia cierta es que la llegada del polvo a las islas está parcialmente relacionada con el número de precipitaciones que acontecen en el desértico Norte de África.[191].

En cualquier caso, las partículas en suspensión y el ozono troposférico son los agentes que provocan mayores problemas de contaminación en la ciudad, según

los técnicos de Medio Ambiente del Ayuntamiento capitalino, quienes sostienen que otros agentes contaminantes que afectan a la salud: dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO), no superan nunca los límites permitidos.

Al menos, esto es lo que reflejan los datos del sistema de predicción matemática del Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria, que coincide con las mediciones del gobierno. Este sistema hace una predicción día a día de la situación en el municipio, después de haber modelizado las emisiones a lo largo de un año de sustancias contaminantes que afectan la salud en dieciséis sectores de la ciudad.

Sin embargo, los técnicos explican que durante lo últimos años sólo ha dado un episodio de alerta por contaminación de ozono troposférico (el ozono que está a baja altura y que es perjudicial, a diferencia del ozono que se encuentra en la estratósfera, muy beneficioso porque filtra las radiaciones ultravioleta).

Curiosamente, lo que nos hace afortunados también puede dañarnos, y es que, el culpable del incremento del ozono troposférico es precisamente la abundancia de horas de sol, que hay en esta tierra.

No obstante, el ozono a nivel terrestre, no sólo no supera los límites establecidos, sino que está al 55% de este máximo.

Todas estas circunstancias propician el incremento, entre la población capitalina de las enfermedades respiratorias y de las alergias.

3. 10. Normativa.

La incorporación de España a la Unión Europea (UE) ha impulsado de forma significativa el desarrollo de la sanidad ambiental mediante iniciativas políticas, como la Estrategia Europea de Salud y Medio Ambiente, y legislativas dirigidas a la protección de la salud y el medio ambiente. La transposición de las Directivas y

Reglamentos europeos en esta materia ha originado una importante cantidad de legislación básica del Estado, una mayor demanda social para su aplicación y al mismo tiempo una necesidad de

dotación de recursos humanos, organizativos y administrativos para prevenir y controlar los efectos sobre la salud derivados de la exposición a contaminantes ambientales. En los países industrializados se atribuyen a factores medioambientales entre el 25 y el 33% de las enfermedades, siendo la infancia el grupo más vulnerable.

En el marco del Sexto Programa Comunitario de Medio Ambiente la Unión Europea en el año 2003, se elaboró la Estrategia sobre Medio Ambiente y Salud (primer ciclo 2004-2010).

El objetivo general de esta iniciativa es reducir en Europa las enfermedades que provocan los factores medioambientales mediante la instauración de políticas en este ámbito. En su concepción, lacual fue fruto del trabajo conjunto de los Comisarios responsables de medio ambiente, salud pública e investigación, se hace especial hincapié a la importancia de llenar el tradicional vacío que se interpone entre el medio ambiente y la salud.

Para lograr este objetivo la Unión Europea plantea que se han de ampliar los conocimientos sobre los problemas sanitarios vinculados con la degradación del medio ambiente, con el fin de prevenir las nuevas amenazas a la salud derivadas de la contaminación ambiental.

En este contexto se presta especial atención a los grupos más vulnerables de la sociedad, en particular a la infancia.

La estrategia recibe la denominación de SCALE, correspondiente al acrónimo en inglés de los cinco elementos clave en los que descansa (Science, Children, Awareness, Legal instrument, Evaluation). Ciencia, Conciencia, Infancia, Instrumentos Jurídicos y Evaluación. [188].

La nueva directiva comunitaria al respecto, fue desarrollada por la Directiva 1999/30/CE del Consejo, de 22 de abril de 1999, relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente, la Directiva 2000/69/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de noviembre de 2000, sobre los valores límite para el benceno y el monóxido de carbono en el aire ambiente, la Directiva 2002/3/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12

de febrero de 2002, relativa al ozono en el aire ambiente y la Directiva 2004/107/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de diciembre de 2004, relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos poli cíclicos en el aire ambiente.

Dichas Directivas han sido incorporadas al derecho interno mediante el Real Decreto 1.073/2002, de 18 de octubre, sobre la evaluación y gestión de calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono.

El Real Decreto 1.796/2003, de 26 de diciembre, relativo al ozono en el aire ambiente; y por el Real Decreto 812/2007, de 22 de junio, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos poli cíclicos.

Esta normativa, en particular el artículo 3, apartado 1.b) del citado Real Decreto 1.073/2002, de 18 de octubre y el artículo 5 del Real Decreto 1.796/2003, de 26 de diciembre, establecen la necesidad de que las Comunidades Autónomas elaboren listas diferenciadas donde se incluyan las zonas conflictivas y las aglomeraciones.

La Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire, se publicó en el *Diario Oficial de la Unión Europea* en mayo de 2008, junto

con una Declaración de la Comisión sobre los avances en la elaboración y adopción de nuevas medidas para luchar contra las emisiones procedentes de diversas fuentes.

La Directiva aprobada funde cuatro Directivas y una Decisión del Consejo en una sola Directiva sobre calidad del aire. Establece normas y fechas tope para reducir las concentraciones de partículas finas que, junto con las partículas más gruesas (denominadas PM_{10}) ya sujetas a normativa, constituyen uno de los contaminantes más peligrosos para la salud humana. Obliga a los Estados miembros a reducir la exposición a las $PM_{2.5}$ en zonas urbanas en una media del 20 % de aquí al año 2020, partiendo de los niveles de 2010.

Les obliga asimismo a situar los niveles de exposición por debajo de 20 microgramos/m^3 en esas zonas de aquí a 2015. Los Estados miembros habrán de cumplir el valor límite de 25 microgramos/m^3 de $PM_{2.5}$ en todo su territorio. Ese valor deberá alcanzarse de aquí a 2015 o, si es posible, ya en 2010.

La nueva Directiva incluye nuevos objetivos para las partículas finas $PM_{2.5}$ sin modificar las normas vigentes sobre calidad del aire. Ahora bien, otorga mayor flexibilidad a los Estados miembros para ajustarse a algunas de esas normas en zonas en que el cumplimiento les resulta difícil. Conformarse a los valores límite para las PM_{10} está resultando complicado en 25 de los 27 Estados miembros de la UE, que los superan en al menos una parte de su territorio (véase el documento IP/07/1537).

Los plazos para cumplir las normas correspondientes a las PM_{10} podrán diferirse tres años tras la entrada en vigor de la Directiva (a mediados de 2011) o por un período máximo de cinco años en lo que se refiere al dióxido de nitrógeno y al benceno (2010-2015), siempre que se aplique íntegramente la normativa comunitaria pertinente, como la prevención y el control integrados de la contaminación (IPPC, véase el documento MEMO/07/441) y que se adopten todas las medidas de reducción oportunas e incluye una lista de medidas que han de tenerse en cuenta.

3. 11. Selección del área de Estudio.

Después de realizar la identificación de campo en el área a estudiar (sur de Gran Canaria) de los líquenes presentes, se han establecido estaciones, de forma estratégica para el seguimiento del recubrimiento y vitalidad, así como inventarios en cada una de las estaciones. Además, se toman muestras para analizar en el laboratorio los parámetros de interés para conocer la bioacumulación de contaminantes y el estado de degradación de los líquenes.

3. 11.1. Barranco de Tirajana.

El enorme volcán que dio origen a la isla de Gran Canaria, formó un gran cráter llamado “Hoya de Tunte” o caldera de Tirajana. En la parte sur de esta extensa caldera el proceso de erosión ha dado lugar a la formación de profundos barrancos: el Barranco de Fataga y el Barranco de Tirajana, separados por el macizo de Amurga.

El Barranco de Tirajana (con 76 Km^2 de extensión) se extiende en dirección noreste suroeste y se localiza principalmente en el municipio de Santa Lucia de Tirajana. Es uno de los paisajes más hermosos de la isla y destaca por sus palmerales y sus pequeñas cascadas.

Santa Lucía de Tirajana es un municipio canario perteneciente a la provincia de Las Palmas. Está situado en el sureste de la isla de Gran Canaria. Se halla entre los municipios de San Bartolomé de Tirajana (del cual lo separa el barranco de Tirajana) y Agüimes (del que está separado por el barranco de Balos).

Posee dos zonas con características bien diferenciadas:

- La costa (llanos de Sardina), donde actualmente vive casi toda su población, en la que destacan los núcleos urbanos de Sardina del Sur, Vecindario y Pozo Izquierdo (dónde se celebran anualmente pruebas valederas para el campeonato mundial de windsurf).

- La cumbre (caldera de Tirajana), zona de población más escasa y también más tradicional, con Santa Lucía como cabecera municipal.

Su principal actividad económica es el comercio, acompañada de la agricultura (tomate, flores, etc., cultivados principalmente en invernaderos), aunque gran parte de la población trabaja en el sector turístico de San Bartolomé de Tirajana o en pequeñas industrias locales (sobre todo, en el vecino polígono industrial de Arinaga, perteneciente al municipio de Agüimes).

Forma una mancomunidad municipal (Mancomunidad del Sureste) con los municipios de Agüimes e Ingenio, comarca que desde la llegada de la democracia en España, ha conocido un intenso desarrollo demográfico, económico y social.

Su población censada en el año 2011 en 54.613 con una densidad de 164,0 hab./km^2, se reparte en las poblaciones de Santa Lucía, Rosiana, Las Lagunas, Ingenio, La Sorrueda, Sardina, Orilla Alta, Orilla Baja, La Blanca, Casa Pastores, Doctoral, Vecindario, Cruce de Sardina, El Canario, Los Llanos, Balos, Casa Santa, Pozo Izquierdo y Bahía Formas.

Figura 4. Barranco de Tirajana. (Fuente: Canariasnatural.net).

3. 11. 2. Localidades de muestreo, inventarios y especies a estudio.

Se han establecido para el estudio de bioindicadores liquénicos 12 localidades de estudio en el sur de Gran Canaria, localizadas alrededor del Barranco de Tirajana. La razón de dicha elección se de debe a que están en el área de influencia de la zona industrial y cercanas a una fuente de contaminación atmosférica de las Centrales Termoeléctricas de Juan Grande y Jinámar, así como en el área de influencia del Polígono Industrial de Arinaga y el Aeropuerto de Gando.

Las estaciones se muestran a continuación:

Estación 1**:** **PICO TABAIBAS**
Estación 2: **MONTAÑA DE LAS CARBONERAS**
Estación 3: **SANTA LUCÍA**
Estación 4: **MONTAÑA ARINAGA**
Estación 5: **MONTAÑA DE AGÜIMES**
Estación 6: **INGENIO-PASADILLA**
Estación 7: **CRUZ GRANDE**
Estación 8: **GITAGANA**
Estación 9: **ALDEA BLANCA**
Estación 10: **PICO DE LAS NIEVES**
Estación 11: **INGENIO-CAZADORES**
Estación 12: **TEMISAS**

En la tabla 4 y la figura 5 se describen las características y ubicaciones de cada una de las estaciones en estudio.

Número de Estación	Estación	Distancia (Km)	Altitud (m)
1	Pico Tabaibas	8,2	143
2	Montaña Carboneras	8,8	512
3	Santa Lucía	14	800
4	Montaña Arinaga	8,6	190
5	Montaña Agüimes	10,9	350
6	Ingenio-Pasadilla	14,8	600
7	Cruz Grande	21	1240
8	Gitagana	15,3	350
9	Aldea Blanca	5,5	160
10	Pico de las Nieves	23,3	1700
11	Pasadilla-Cazadores	21	900
12	Temisas	17	850

Tabla 4. Distancia y Altitud de las Estaciones con respecto a la Central Térmica.

Figura 3. Ubicación de estaciones en estudio.

En dichas localidades se han seguido de dos a cuatro inventarios por localidad, con un total de 48 cuadrículas como unidad de esfuerzo; y un total de 59 inventarios.

En cada inventario se han estudiado las especies mas afines entre estaciones mediante su identificación visual.

A continuación se muestra tabla de inventarios de cada una de las localidades a estudio, así como el mapa del ärea de estudio:

Localidad de muestreo	Nº de inventarios a estudio	Total Inventarios
1. PICO TABAIBAS	1, 2, 3, 4	4
2. MONTAÑA CARBONERAS	1, 2, 3, 4, 5	5
3. SANTA LUCÍA	1, 2, 3, 4	4
4. MONTAÑA ARINAGA	1, 2, 3, 4	4
5. MONTAÑA AGUIMES	1, 2, 3	3
6. INGENIO-PASADILLA	1, 2, 3	3
7. CRUZ GRANDE	1, 2, 3, 4	4
8. GITAGANA	1, 2, 3, 4, 5, 6	6
9. ALDEA BLANCA	1, 2, 3, 4, 5, 6	6
10. PICO DE LAS NIEVES	Saxícolas 1, 2, 3, 4	4
	Epífitos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	10
11. INGENIO-CAZADORES	1,2,3	3
12. TEMISAS	1,2,3	3
TOTAL INVENTARIOS		**59**

Tabla 5. Inventarios de las localidades en estudio.

Figura 6. Mapa del Área en estudio.

3. 11. 2. 1. Estación Pico Tabaibas.

ESTACIÓN Nº 1: PICO TABAIBAS		
Distancia a la Central (Km):	8,20	
Situación desde la Central:	W-WNW	
Altitud (m):	519	
Coordenadas Geográficas:	N 27º 48´ 9´´	
	WO 15º 31´ 2´´	
Inventarios:	4	**Vertiente oeste**

3. 11. 2. 2. Estación Montaña Carboneras.

ESTACIÓN Nº 2: MONTAÑA CARBONERAS		
Distancia a la Central (Km):	8,80	
Situación desde la Central:	NW	
Altitud (m):	512	
Coordenadas Geográficas:	N 27º 51´ 32´´	
	WO 15º 29´ 55´´	
Inventarios:	5	**Vertiente sur dirección central**

3. 11. 2. 3. Estación Santa Lucía.

ESTACIÓN Nº 3: SANTA LUCÍA		
Distancia a la Central (Km):	14,0	
Situación desde la Central:	NW-NNW	
Altitud (m):	843	
Coordenadas Geográficas:	N 27º 54´ 3´´	
	WO 15º 31´ 50´´	
Inventarios:	4	**Vertiente sur dirección central**

3. 11. 2. 4. Estación Montaña Arinaga.

ESTACIÓN Nº 4: MONTAÑA ARINAGA		
Distancia a la Central (Km):	8,60	
Situación desde la Central:	NNE-NE	
Altitud (m):	199	
Coordenadas Geográficas:	N 27º 52´ 10´´	
	WO 15º 23´ 39´´	
Inventarios:	4	**Vertiente suroeste dirección central**

3. 11. 2. 5. Estación Montaña Agüimes.

ESTACIÓN Nº 5: MONTAÑA AGÜIMES		
Distancia a la Central (Km):	10,9	
Situación desde la Central:	N-NNE	
Altitud (m):	352	
Coordenadas Geográficas:	N 27º 53´ 60´´	
	WO 15º 26´ 2´´	
Inventarios:	3	**Vertiente sur dirección central**

3.11. 2. 6. Estación Ingenio-Pasadilla.

ESTACIÓN Nº 6: INGENIO-PASADILLA		
Distancia a la Central (Km):	14,8	
Situación desde la Central:	NNW –N	
Altitud (m):	634	
Coordenadas Geográficas:	N 27º 56´ 5´´	
	WO 15º 27´ 39´´	
Inventarios:	3	**Vertiente sur dirección central**

3. 11. 2. 7. Estación Cruz Grande.

ESTACIÓN Nº 7: CRUZ GRANDE		
Distancia a la Central (Km):	21,0	
Situación desde la Central:	WNW –NW	
Altitud (m):	1.240	
Coordenadas Geográficas:	N 27º 55´ 40´´	
	WO 15º 35´ 48´´	
Inventarios:	4	**Vertiente sur dirección central**

3. 10. 2. 8. Estación Gitagana.

ESTACIÓN Nº 8: GITAGANA		
Distancia a la Central (Km):	15,3	
Situación desde la Central:	W-WNW	
Altitud (m):	350	
Coordenadas Geográficas:	N 27º 50´ 1´´	
	WO 15º 35´ 8´´	
Inventarios:	6	**Vertiente sur dirección central**

3. 11. 2. 9. Estación Aldea Blanca.

ESTACIÓN Nº 9: ALDEA BLANCA		
Distancia a la Central (Km):	5,5	
Situación desde la Central:	WNW-NW	
Altitud (m):	160	
Coordenadas Geográficas:	N 27º 49´ 40´´	
	WO 15º 28´ 57´´	
Inventarios:	6	**Vertiente NE**

3. 11. 2. 10. Estación Pico de las Nieves.

ESTACIÓN Nº 10: PICO DE LAS NIEVES		
Distancia a la Central (Km):	23,3	
Situación desde la Central:	NW - NNW	
Altitud (m):	1.700	
Coordenadas Geográficas:	N 27º 57´ 19´´	
	WO 15º 36´ 13´´	
Inventarios:	4 saxícolas 10 epifíticos	**Vertiente Oeste**

3. 11. 2. 11. Estación Ingenio-Cazadores.

ESTACIÓN Nº 11: INGENIO-CAZADORES		
Distancia a la Central (Km):	21,0	
Situación desde la Central:	NNW – N	
Altitud (m):	900	
Coordenadas Geográficas:	N 27º 57´ 19´´	
	WO 15º 28´ 29´´	
Inventarios:	3	**Vertiente NE, dirección aeropuerto**

3. 11. 2. 12. Estación Temisas.

ESTACIÓN Nº 12: TEMISAS		
Distancia a la Central (Km):	17,0	
Situación desde la Central:	NW - NNW	
Altitud (m):	850	
Coordenadas Geográficas:	N 27º 54´ 12´´	
	WO 15º 30´ 38´´	
Inventarios:	3	**Vertiente NE**

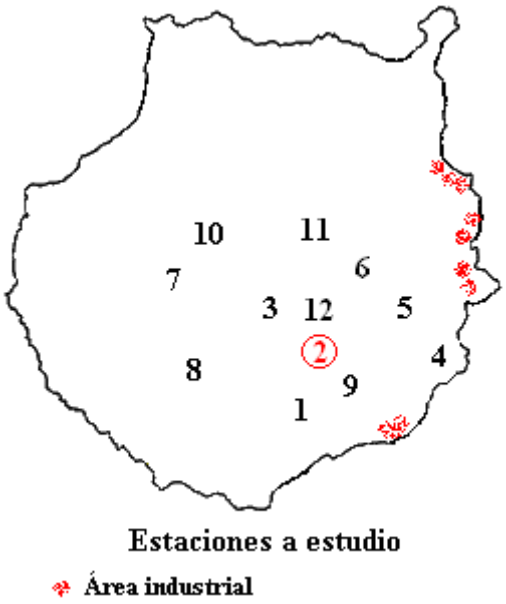
3. 12. Ubicaciones de las Estaciones de Muestreo.

3. 12. 1. Estación Nº 1: Pico Tabaibas.

Coordenadas:
(448935,29;3076066,5)
Altitud: 143 m
Inventarios: 4

Vista panorámica de la vertiente Oeste del Pico de Tabaibas. Se localizan en su vertiente W-WSW 2 inventarios (1 y 1a) y en la vertiente E-ESE se sitúan 2 inventarios (2 y 2 a).

3. 12. 2. Estación Nº 2: Montaña Carboneras.



Coordenadas:
(450885,8;3081665,5)
Altitud: 512 m
Inventarios: 5

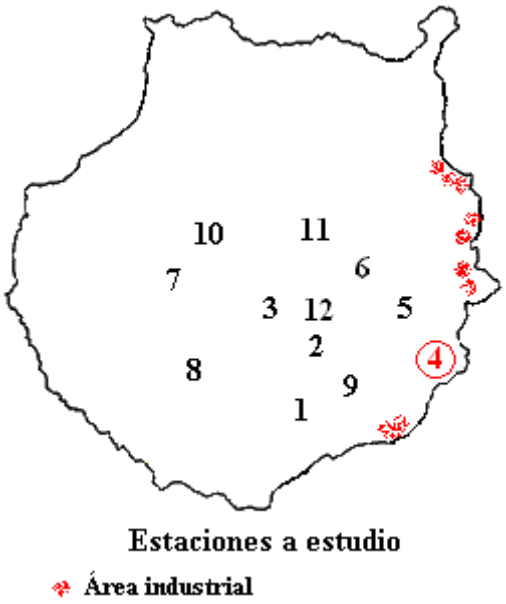
Vista panorámica de la vertiente NE de Montaña Carboneras. Se localizan en su vertiente NE 5 inventarios (1, 1a, 1b, 2, y 2a). .

3. 12. 3. Estación Nº 3: Santa Lucía.

Coordenadas:
(447827,7;3885956,3)
Altitud: 800 m
Inventarios: 4

Vista panorámica de la vertiente NW de Santa Lucía. Se localizan en su vertiente NNW 4 inventarios (1a, 1b, 2, y 3).

3. 12. 4. Estación Nº 4: Montaña Arinaga.



Coordenadas:
(461273,1;30882772,6)
Altitud: 190 m
Inventarios: 4

Vista panorámica de la vertiente SW de Montaña Arinaga. Se localizan en su vertiente NNE 1 inventario (1), y la vertiente SW 3 inventarios (2, 3, y 4).

3. 12. 5. Estación Nº 5: Montaña Agüimes.

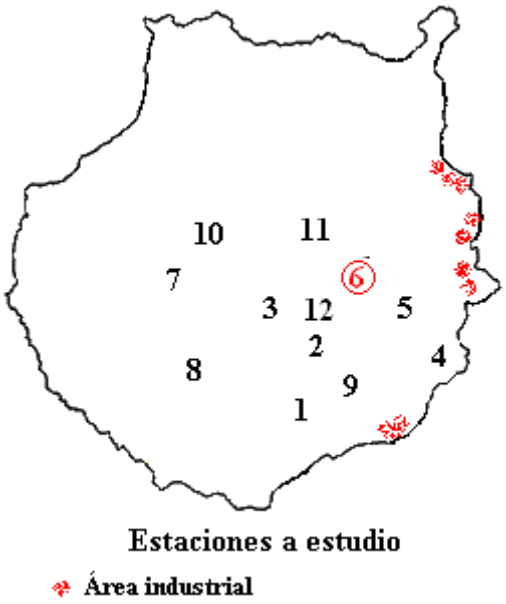
Coordenadas: (457368;3086229,2)

Altitud: 350 m

Inventarios: 3

Vista panorámica de la vertiente SW de Montaña Agüimes. Se localizan en su vertiente SW 3 inventarios (1, 2, y 3)

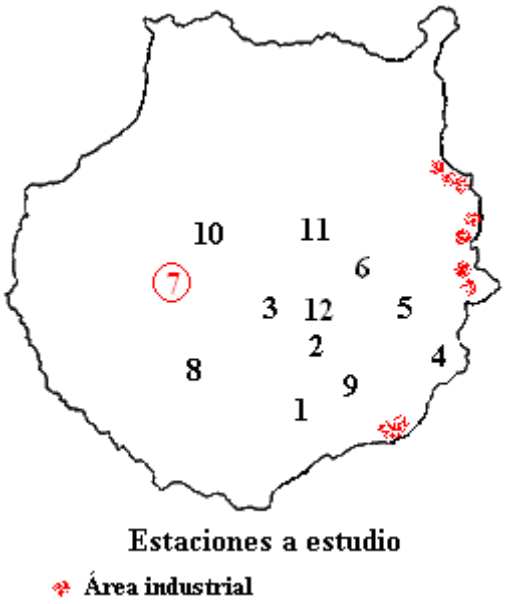
3. 12 .6. Estación Nº 6: Ingenio-Pasadilla.



Coordenadas:
(454610,6;3089972,1)
Altitud: 600 m
Inventarios: 3

Vista panorámica de la vertiente SE de Ingenio-Pasadilla. Se localizan en su vertiente SE 3 inventarios (1, 2, y 3)

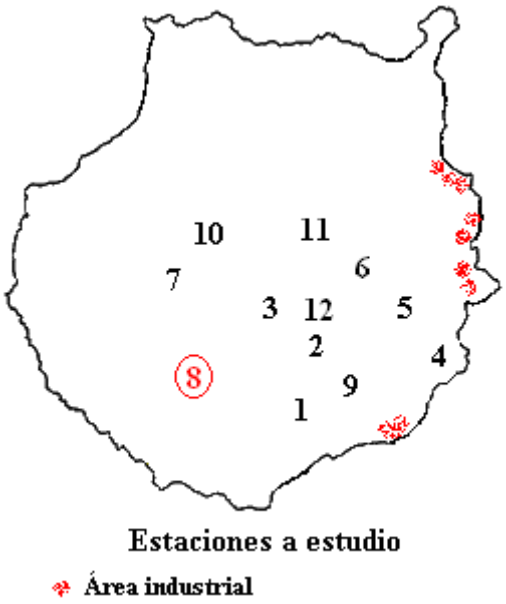
3. 12. 7. Estación Nº 7: Cruz Grande.



Coordenadas:
(441306,1;3089332,7)
Altitud: 1240 m
Inventarios: 4

Vista panorámica de la vertiente NE de Cruz Grande. Se localizan en su vertiente NE 4 inventarios (1, 1ª, 2, y 3b). En zona de Pinar

3. 12. 8. Estación Nº 8: Gitagana.



Coordenadas:
(442216,6;3078912,5)
Altitud: 350 m
Inventarios: 6

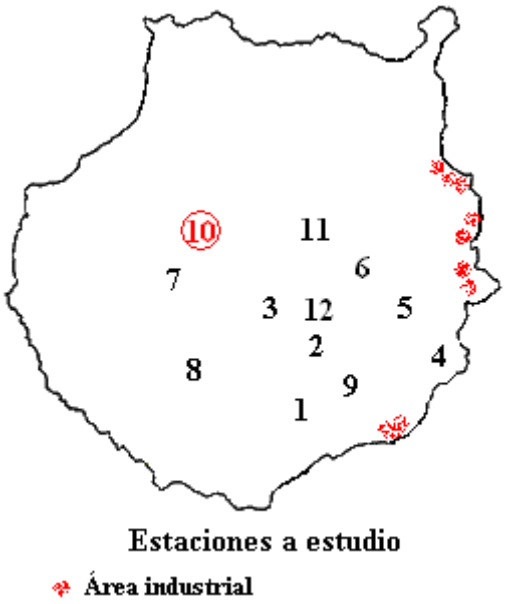
Vista panorámica de la vertiente NE de Gitagana. Se localizan en su vertiente NE 6 inventarios (1, 1a, 2, 2a, 4 y 4b). En zona de barranco de Fataga.

3. 12. 9. Estación Nº 9: Aldea Blanca.

Coordenadas:
(452147,3;3077947,9)
Altitud: 160 m
Inventarios: 6

Vista panorámica de la vertiente NE de Aldea Blanca. Se localizan en su vertiente NE 6 inventarios (1, 1a, 1b, 2, 2b y 2c).

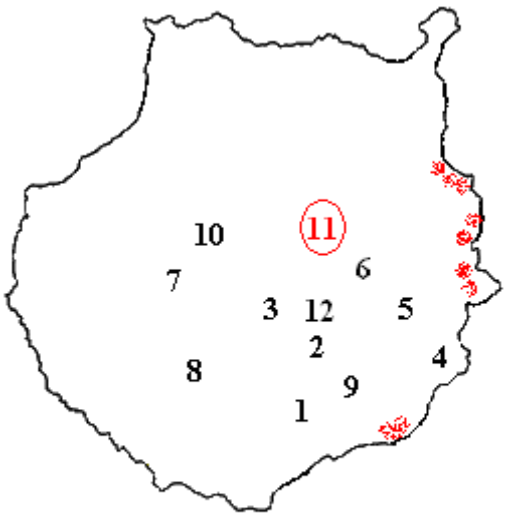
3. 12. 10. Estación Nº 10: Pico de las nieves.



Coordenadas:
(442587,9;3093826,3)
Altitud: 1.700 M
Inventarios: 4 saxícolas
10 epifíticos

Vista panorámica de la vertiente SW de Pico de Las Nieves. Se localizan en su vertiente SW 4 inventarios sobre rocas (1b, 2, 2a, y 3), y 10 inventarios sobre Pinus canariensis (epifíticos)

3. 12. 11. Estación Nº 11: Ingenio-Cazadores.



Coordenadas: (N 27º 57´ 19´´ - WO 15º 28´ 29´´

Altitud: 900 m

Inventarios: 3 saxícolas

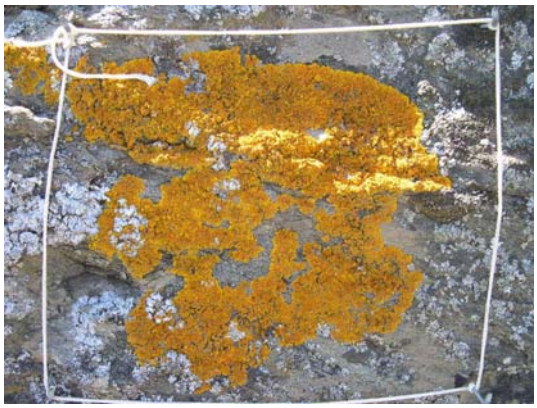
En esta estación, existen tres (3) inventarios de seguimiento, dónde se recogen muestras para análisis fisicoquímicos y para estudios de vitalidad.

3. 12. 12. Estación Nº 12: Temisas

Coordenadas: (N 27º 54´ 12´´ - WO 15º 30´ 38´´)

Altitud: 500 m

Inventarios: 3



En esta estación se toman muestras para análisis fisicoquímicos y además, se investigan los efectos que pueden causar los contaminantes metálicos a diferentes concentraciones sobre poblaciones de líquenes seleccionadas; en tres (3) inventarios de seguimiento.

3.13. Especies estudiadas.

Tras la amplia prospección de la zona en estudio seleccionada, con respecto a las especies de líquenes más representativas en todas las 12 estaciones, se muestran a continuación las especies que, por otro lado, son las que se han utilizado para el seguimiento del recubrimiento y la vitalidad.

Género, especie e identificaciones		Estaciones a estudio											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Caloplaca ferruginea	**Ca**						x	x			x	x	
Lecanora sp.	**Le**	x	x	x		x	x		x		x	x	
Lepraria incana	**Lep**		x	x		x	x	x	x		x	x	
Opheographa diaphora	**Op**	x	x	x				x	x			x	
Rhizocarpon geographicum	**Rhi**	x	x	x	x		x	x			x		
Stereocaulon vesubianum	**Ste**	x	x	x	x	x	x		x				
Verrucaria maura	**Ve**	x	x				x	x					
Caloplaca gloriae	**Cg**	x		x		x	x					x	x
Xanthoria parietina	**Xap**	x	x	x	x	x	x					x	x
Xanthoria resendei	**Xar**	x	x	x	x	x	x		x				
Usnea spp.	**Us**										x		
Lobaria pulmonariea	**Lo**										x		
Parmelia spp.	**Pa**										x		

Tabla 6. Especies en estudio en las estaciones de muestreo

Algunas de las especies más abundantes en las estaciones a estudio, se muestran en el Anexo 1 pág 385.

Capítulo IV:

Contaminantes

Capítulo IV: Contaminantes.

4. Contaminantes Estudiados.

4. 1. Metales.

- 4. 1. 1. Arsénico.
- 4. 1. 2. Cadmio.
- 4. 1. 3. Cobre.
- 4. 1. 4. Cromo.
- 4. 1. 5. Mercurio.
- 4. 1. 6. Níquel.
- 4. 1. 7. Plomo.
- 4. 1. 8. Vanadio.

4. 2. Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP´s).

4. 3. Pesticidas.

- 4.3.1. Pesticidas Organofosforados.
- 4.3.2. Pesticidas Organoclorados.

4. 4. PCB´s.

4. Contaminantes Estudiados.

4.1. Metales.

4.1.1. Arsénico.

El arsénico puede estar presente en forma trivalente o pentavalente, el primero tiene menor toxicidad y el segundo toxicidad relativamente alta. Las emisiones en el aire, ocurren principalmente en forma trivalente (As_2O_3). Históricamente, siempre se han encontrado niveles elevados de arsénico relacionados con partículas en los alrededores de fábricas que queman carbón y plantas de generación eléctrica en Checoslovaquia, con una concentración promedio de 19 $\mu g/m^3$, en India cerca de las minas o fundidoras en los Estados Unidos de América, así como en Chile.

Aún más, la citotoxicidad y la genotoxicidad de compuestos trivalentes monometílicos y dimetílicos, los cuáles pueden considerarse como metabolitos intermedios de arsénico inorgánico en organismos, es mayor que los arsénicos inorgánicos. Así, es muy importante realizar análisis químicos específicos que evalúen la contaminación, condición de exposición, comportamiento, distribución, toxicidad y capacidades metabólicas del As en la biota, [4].

El arsénico ha sido encontrado en los cigarrillos, cuyas cantidades han aumentado considerablemente cuando se comenzó a utilizar arsenatos como insecticidas en los campos de tabaco.[190].

Ha sido reconocido como un veneno para los seres humanos desde la antigüedad. Las dosis orales altas (> 60,000 ppb) en los alimentos o el agua, pueden ser fatales. Si se ingieren niveles de arsénico inorgánico más bajos (entre 300 y 30,000 ppb en los alimentos o el agua), puede producirse irritación del estómago y los intestinos, con síntomas como dolor de estómago, náusea, vómitos y diarrea. También se ha observado que ingerirlo aumenta el riesgo de desarrollar cáncer de hígado, vejiga, riñones, próstata y pulmones. [87].

Por consiguiente, es importante controlar este contaminante e impedir que el cuerpo humano, lo ingiera o inhale. Una manera de cuantificarlo en seres humanos, es a través del cabello. Hammer y col. mostraron que la media geométrica del contenido de arsénico en niños de cuarto grado escolar, variaban de 0,3 ppm en una comunidad no contaminada, a 9,1 ppm en una comunidad cercana a una fundidora de plomo y zinc.

Se han reportado tasas elevadas de cáncer de pulmón en hombres y mujeres habitantes de condados de Estados Unidos de América que vivían alrededor de fundidoras de metales no ferrosos, pero aún no se ha probado que sea debido al arsénico.

La exposición al arsénico inorgánico es una de las interacciones enfermedad-ambiente que se han relacionado recientemente con la ocurrencia de diabetes mellitus tipo 2 (Navas-Acien y col.) En Taiwan y Bangladesh, países con altos niveles de contaminación por arsénico en agua potable, se ha documentado una relación significativa entre los niveles de exposición y de incidencia (Tseng y col.) prevalencia y mortalidad debido a la diabetes.[50].

4.1.2. Cadmio.

Metal blanco brillante con tonos plata, con punto de fusión de 320^{o}C, que forma rápidamente una serie de sales moderadamente solubles en agua. En los organismos, el cadmio siempre va a ser introducido acompañando al zinc, debido a su posición en la tabla periódica y debido a que se encuentra como una impureza de las aleaciones del zinc, constituyendo el 1% de los minerales.

El cadmio no tiene ningún papel conocido en los organismos vivientes pero su uso se ha incrementado significativamente en numerosas industrias. En 1988, ya alcanzaba una producción mundial de 19.800 toneladas métricas. Los principales usos del cadmio son en estabilizadores de vinilos, pigmentos, baterías de níquel-cadmio y fungicidas.

La exposición al cadmio ocurre principalmente en lugares donde se manufacturan productos de cadmio, y la exposición de la población general ocurre al respirar humo de tabaco o al consumir alimentos contaminados con el metal. El cadmio daña los pulmones, puede producir enfermedades a los riñones e irritar el tubo digestivo. El cadmio puede acumularse en los riñones a raíz de exposición por largo tiempo a bajos niveles de cadmio en el aire, los alimentos o el agua; esta acumulación puede producir enfermedades renales.

Lesiones en los pulmones y fragilidad de los huesos son otros efectos posibles causados por exposición de larga duración. En animales a los que se les dio cadmio en la comida o en el agua se observó un aumento de la presión sanguínea, déficit de hierro en la sangre, enfermedades del hígado y lesiones en los nervios y el cerebro. [99], [153].

Es extremadamente tóxico tanto para plantas como para animales. Una concentración tan pequeña como 1 a 10 ppm tiene efectos sobre el crecimiento de las plantas, mientras que 5 ppm en agua potable disminuye la duración de vida de las ratas en un 15%.

La contaminación por cadmio, ocasionó en Japón un episodio severo de salud humana (*Itai-itai)*, conocido por “ouch-ouch”, debido al gran sufrimiento que ocasionaba la fragilidad de huesos resultante por ingerir arroz contaminado con este metal.[112].

Más recientemente, el incremento de la hormona folículo estimulante (FSH) en mujeres pre y peri-menopaúsicas, ha sido asociado con el incremento de la reabsorción de los huesos y la disminución de la densidad mineral del hueso (BMD).

La naturaleza crónica de la exposición al cadmio y el proceso de pérdida ósea con la edad, cuestiona los posibles efectos del cadmio antes y después de la menopausia.[72]. Se acumula en el riñón humano, con una vida media de 20-30 años. (ATSDR, 1999).

4.1.3. Cobre.

Este metal se encuentra presente en el organismo en concentraciones de 100 a 150 mg, y el 90% de esta cantidad se encuentra en músculos, huesos e hígado. Participa en la formación de la hemoglobina, y es fundamental para el desarrollo y mantenimiento de huesos, tendones, tejido conectivo y el sistema vascular; por tanto es un oligoelemento esencial para la vida humana.

El cobre posee un importante papel biológico en el proceso de fotosíntesis de las plantas, aunque no forma parte de la composición de la clorofila. El cobre se encuentra en una gran cantidad de alimentos habituales de la dieta tales como ostras, mariscos, legumbres, vísceras y nueces entre otros, además del agua potable y por lo tanto es muy raro que se produzca una deficiencia de cobre en el organismo. La carencia de cobre en el organismo es igualmente anormal en personas que llevan una alimentación normal. Sin embargo las formas en que se puede manifestar la ausencia de cobre en el organismo es por anemias moderadas a severas, edemas, desmineralización ósea, detención del crecimiento, anorexia y vulnerabilidad a infecciones.

Ante carencias de cobre en el organismo, su presencia disminuye en el cerebro, huesos, tejido conjuntivo y médula ósea pero no en el hígado. Las necesidades diarias son de aproximadamente de alrededor 2 mg.

Es raro ver excesos de cobre, pero estos pueden producir hepatitis, mal funcionamiento de riñones y desórdenes neurológicos. Una dificultad metabólica determinada genéticamente que se caracteriza por aumentar los depósitos de cobre en hígado y cerebro es la enfermedad de Wilson.

4.1.4. Cromo.

El cromo trivalente, que es la forma más frecuente en que se manifiesta en la naturaleza, tiene una toxicidad baja. El cromo hexavalente, sin embargo, tiene una gran toxicidad, y su presencia se encuentra relacionada con actividades industriales.

Ambas formas se encuentran de forma poca usual en el aire. La exposición laboral a los compuestos de croo hexavalente, que son irritantes y corrosivos, causan alteraciones en el tracto respiratorio y en la piel. Se han encontrado perforaciones nasales en trabajadores expuestos a los cromatos. Es algo bien conocido, que esta exposición también ocasiona cáncer de pulmón. (Health of Workers in Chromate Producing Industry).

En un estudio de los efectos producidos en la población general de las emisiones de una planta productora de cromatos en Japón, se encontraron casos ligeros de faringitis a una concentración de ácido crómico de <1,5 $\mu g/m^3$. No se han encontrado efectos significativos causados por la exposición a compuestos crómicos trivalentes. Aunque en la mayoría de los cuerpos humanos, los niveles de cromo no cambian o incluso decrecen durante su tiempo de vida, existe una acumulación en los pulmones, conforme aumenta la edad, indicando que el cromo tiene un tiempo medio biológico largo en ese órgano. En estudios en la antigua Unión Soviética, la concentración encontrada que causa irritación nasal y disminución en los reflejos, ronda alrededor de 2,5 $\mu g/m^3$.

Se han reportado casos de asma ocupacional debida a la exposición a cromo y a níquel, presentando los pacientes una respuesta positiva tardía a una concentración de 0,1 mg/ml de cloruro de níquel, y una respuesta positiva precoz con una solución de 10 mg/ml de dicromato potásico. [53].

4.1.5. Mercurio.

El mercurio es un metal pesado procedente tanto de fuentes antropogénicas como naturales que se encuentra ampliamente distribuido en el medio ambiente y es persistente (ATDSR, 1999). Una vez liberado en el medio ambiente, el mercurio inorgánico se deposita en medio acuáticos y forma metil mercurio, el cual es su forma más tóxica, que se bioacumula en organismos marinos y es biomagnificado a través de la cadena trófica.

Los seres humanos pueden ser afectados también por amalgamas metálicas, termómetros, emisiones de combustibles fósiles, recipientes de medicamentos y productos cosméticos, entre otros, pero la mayor fuente de contaminación es a través del consumo de pescado. (US Environmental Protection Agency, 2009).

Los vapores de mercurio metálico o el mercurio orgánico pueden afectar diferentes áreas del cerebro y las funciones que se asocian con estas áreas, lo que se manifiesta en una variedad de síntomas. Éstos incluyen cambios de personalidad (irritabilidad, timidez, nerviosidad), temblores, alteraciones de la visión (reducción del campo visual), sordera, incoordinación muscular, pérdida de la sensación y dificultades de la memoria.

Además de los efectos sobre los riñones, el mercurio inorgánico puede dañar el estómago y los intestinos, produciendo náusea, diarrea o úlceras graves si se ingieren grandes cantidades. En niños que tragaron accidentalmente cloruro mercúrico también se observaron efectos en el corazón. Los síntomas que se observaron fueron latido rápido del corazón y aumento de la presión sanguínea. [68].

4.1.6. Níquel.

Los efectos más graves a la salud por exposición al níquel, por ejemplo bronquitis crónica, disminución de la función pulmonar y cáncer de los pulmones y los senos nasales, han ocurrido en personas que han respirado polvo que contenía compuestos de níquel en el trabajo en refinerías de níquel o en plantas de procesamiento de níquel.. Las concentraciones de compuestos de níquel solubles o poco solubles que produjeron cáncer eran entre 100,000 y 1 millón de veces más altas que los niveles de níquel que se encuentran comúnmente en el aire en los Estados Unidos. La EPA ha determinado que el polvo de níquel de refinerías y el sulfuro de níquel son carcinogénicos en seres humanos. (Agencia de Protección Ambiental. Estados Unidos de Norteamérica, E.P.A.) El carbonilo de níquel ($Ni(CO)_4$), generado durante el proceso de obtención del metal, es un gas extremadamente tóxico.

Las personas sensibilizadas pueden manifestar alergias al níquel. La cantidad de níquel admisible en productos que puedan entrar en contacto con la piel está regulada en la Unión Europea; a pesar de ello, la revista *Nature* publicó en 2002 un artículo en el que investigadores afirmaban haber encontrado en monedas de 1 y 2 euros, niveles superiores a los permitidos, se cree que es debido a una reacción galvánica.

Se ha encontrado que, en casos de dermatosis de las manos, que son un motivo habitual de consulta en la Unidad de Contacto, siendo el diagnóstico de DCI (dermatitis por contacto irritativa, los alérgenos con relevancia clínica más frecuentes fueron el cromo, el níquel, la colofonía, diversos alérgenos de plantas y la p-fenilendiamina. [39].

La exposición al níquel metálico y sus compuestos solubles no debe superar los 0,05 mg/cm^3 medidos en niveles de níquel equivalente para una exposición laboral de 8 horas diarias y 40 semanales.

4.1.7. Plomo.

El plomo fue la segunda sustancia peligrosa enlistada en el registro de la Agencia de Sustancias Tóxicas y Enfermedades en el año 1999. El plomo no es un elemento esencial, sin embargo, prácticamente todas las personas tienen algún nivel de plomo en la sangre y en los huesos. [133].

Los compuestos inorgánicos del plomo atmosférico son absorbidos por los humanos, principalmente a través del sistema respiratorio, alcanzando el torrente sanguíneo aproximadamente el 35% del plomo inhalado por los pulmones. Una vez incorporado el plomo a la corriente sanguínea, una parte se almacena en los huesos y otra se expulsa por la orina, en una continua fase de renovación en el organismo. A partir de ciertas cantidades, puede producir efectos adversos en el comportamiento, afectar la inteligencia de los niños y ser causa de anormalidades en los fetos de madres gestantes.

Los adultos, por lo general, son menos sensibles que los niños a los efectos del plomo, pero una acumulación excesiva en el organismo puede producir serios e irreversibles daños en su sistema nervioso. Dosis de 30 µg/dL es considerada tóxica y, en infantes y fetos esta concentración tóxica es menor, alrededor de 10 µg/dL.

Se han realizado estudios donde queda de manifiesto los efectos negativos en algunos sistemas como el cardiovascular (Vaziri, 2002), renal (Gonick, 2002), inmune (Dietert y Piepenbrick, 2006) y reproductivo (Bellinger, 2002), así como en huesos y dientes (Hu y col. 1998). Además, se ha identificado como probable carcinógeno en humanos (Silbergeld, 2003).

El sistema nervioso es especialmente sensible a los efectos del plomo. La neurotoxicidad debido al plomo continúa siendo un severo problema de salud en muchos países. Se han asociado niveles altos de plomo con disfunciones motoras severas, que incluyen problemas de balance postural, el desplazamiento al andar y actividades motoras.[178].

4.1.8. Vanadio.

El Vanadio se encuentra naturalmente en aire, suelo, agua, plantas, animales y agua. Se encuentra en la corteza terrestre en aproximadamente un 0,014%.

La mayoría de los datos de emisión del vanadio en el medio ambiente se relacionan con fuentes industriales, especialmente refinerías de aceite y plantas generadoras de energía que utilicen combustibles ricos en vanadio. Además se asocia con actividades de industria metalúrgica.

Existen numerosos estudios enfocados a comprender sus funciones biológicas y fisiológicas, así como de su toxicidad potencial. El vanadio en cantidades traza es necesario para el crecimiento celular normal, pero puede causar efectos adversos cuándo su concentración es mayor a unas cuantas décimas de µg/l. Además, su toxicidad parece incrementarse a medida que su solubilidad y valencia se incrementa.

El vanadio tiene muchos números de oxidación en un rango entre 1 y 5. En particular, el Vanadio II es inestable en el medio ambiente, debido a que es sensible al oxígeno. El Vanadio III es más estable que el Vanadio II, pero es oxidado gradualmente por el aire o por oxígeno disuelto.[125].

Causa irritación en las vías respiratorias y otros tejidos sensibles, bronquitis crónica con posible aparición de enfisemas pulmonares y cáncer de pulmón. Además el vanadio produce sinergismos con el dióxido de azufre. [184].

4. 2. Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP´s).

Se encuentran en la categoría de contaminantes más perjudiciales para el medio ambiente y son identificados como contaminantes prioritarios, debido a que son extremadamente dañinos para la salud humana. Se trata de un grupo de contaminantes orgánicos que contienen dos o tres anillos aromáticos.

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América (EPA), ha identificado 16 HAP´s como contaminantes prioritarios y han sido incluidos como contaminantes orgánicos persistentes (POP´s) en el Comité Europeo de las Naciones Unidas en un tratado global firmado en Mayo de 2001, en una convención de regulación de POP´s. Como consecuencia de su persistencia y su habilidad para re-volatilizarse se transportan a grandes distancias desde su fuente de emisión hacia las regiones polares (Gouin, 2004 y Roosens, 2007). Sin embargo, a bajas temperaturas y grandes alturas, los procesos de deposición son más pronunciados que la evaporación. [27].

Una vez que entran en la atmósfera, se redistribuyen entre las fases partícula-gas y son sujetos a mecanismos de remoción como reacciones de oxidación y deposiciones secas y húmedas. Durante la precipitación, los HAP´s ambos en forma gaseosa y aerosol son descargados de la atmósfera hacia la tierra por medio de la lluvia.[73].

Se forman principalmente durante la combustión incompleta de materiales como carbón, aceites o gases. También se forman como productos de actividades cotidianas como el cocinar y calentar habitaciones, siendo el humo del tabaco la fuente más importante. Se pueden encontrar en el agua, suelo y aire, donde se reparten entre la fase vapor y en partículas. [164].

De varios estudios se desprende que especialmente, estos últimos, los HAP´s asociados con partículas son especialmente dañinos para los humanos, debido a que poseen mayores pesos moleculares, y que esos compuestos son los que han demostrado ser más cancerígenos. Sin embargo, solo representan el 5% del total de la exposición a los HAP´s, según la ATDSR.[59].

La mayoría de los HAP´s son citotóxicos y mutagénicos para organismos de todo tipo, y algunos de ellos son considerados como ya se mencionó como probables y posibles compuestos carcinógenos para los humanos. (IARC, 1983, 2002, 2008).

Los resultados obtenidos con pruebas con animales sugieren que pueden contribuir a la arterioesclerosis en humanos. Son solubles en tejidos grasos o ricos en lípidos, de manera que se encuentran ampliamente distribuidos en ciertos organismos vegetales, como talos de líquenes, musgos y hojas de plantas, donde son acumulados.

Los efectos fototóxicos de los HAP´s fueron reconocidos durante el siglo XX y este fenómeno ha sido estudiado extensivamente en organismos acuáticos, bacteria, plantas, y células de mamíferos. (Arfsten y col. 1996) (Yu, 2002). La fototoxicidad puede ser mayor que la toxicidad de los mismos. Sin embargo, sólo se han realizado algunos estudios acerca de HAP´s representativos como el benzo[*a*]pireno, el antraceno y el fluoranteno. La fotoxicidad se observa en presencia de radiaciones de UVA entre 300 y 400 nm. [201].

Los UVA son conocidos por mostrar efectos biológicos, vía acción fotodinámica de los cromóforos intracelulares y exógenos, causados por la elevación de la energía de las moléculas de su estado basal al estado excitado. Esto causa lesiones que

causan daños estructurales que dañan a la molécula de ADN y pueden alterar dramáticamente la información contenida en los genes. Dichas lesiones en un gen crítico pueden ocasionar cáncer o pueden ocasionar severas consecuencias a las células. [181].

4.3. Pesticidas.

El uso intensivo de pesticidas comenzó con el desarrollo masivo de la agricultura y la agroindustria, sobre todo a partir de la segunda guerra mundial. Como otros xenobióticos, los pesticidas tienen a menudo propiedades mutagénicas, teratogénicas y cancerígenas para los animales y el ser humano. Los distintos pesticidas se caracterizan principalmente por su sistema de acción y por su tiempo de vida media en el suelo. (Rosero, 1993).

Las sustancias químicas que se usan como pesticidas cubren una amplia gama de compuestos. La manera más práctica de agruparlos es teniendo en cuenta el efecto que producen sobre las plagas. De esta forma se clasifican en insecticidas, fungicidas, herbicidas y rodenticidas. Cada uno de los cuatro grupos está compuesto por sustancias de naturaleza diferente y más del 90% del total de los pesticidas utilizados son organosintéticos.

El grupo de los insecticidas está compuesto por: organoclorados, organofosforados, carbamatos y fenilureas, y s-triazinas.

Más del 50% de los pesticidas usados en España son insecticidas. Los anticolinesterásicos (organofosforados y carbámicos) son los de mayor toxicidad para el hombre y animales. [150].

4.3.1. Pesticidas Organofosforados.

Durante los años setenta, cuando se prohibieron muchos de los pesticidas organoclorados de primera línea, la industria agroquímica recurrió a los compuestos

organofosforados y a los carbamatos para controlar las plagas de insectos. Ambos tipos de insecticidas son menos persistentes, aunque mucho más tóxicos. El uso de estos pesticidas aumentó rápidamente, y para el final de la década de los años ochenta, el 65% de los pesticidas aplicados a nivel nacional eran OP´s (organosfosforados) y compuestos carbamatos (que son muy afines a los OP´s). Desde entonces, su uso ha aumentado levemente hasta ocupar aproximadamente el 70% de todos los pesticidas consumidos.

Estos pesticidas se aplican a los cultivos, en los edificios, sobre plantas ornamentales y el césped. Se utilizan en cultivos como el maíz, el algodón, la canola, la alfalfa, verduras, frutas y nueces. La industria del control de plagas emplea los pesticidas OP´s en residencias y edificios comerciales. Asimismo, algunos productos para controlar las plagas en los gatos y los perros también contienen compuestos organofosforados.

Entre los productos que contienen OP´s están el Dursban y el Lorsban (contienen el compuesto organofosforado clorpirifos), el Spectracide (contiene el OP diazinón) y el Sevin (contiene el carbomato carbaril). Recientemente, la EPA prohibió el uso doméstico de los clorpirifos y del diazinón.

Investigaciones recientes realizadas por los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos y científicos académicos, han documentado una amplia exposición del público a los pesticidas OP´s. Estos estudios demuestran que la mayoría de la gente en los Estados Unidos presenta compuestos derivados de estos pesticidas en sus muestras de orina. El hecho de que los pesticidas OP´s no son persistentes en el medio ambiente y no se acumulan en los tejidos grasos de las personas y los animales, y de que están presentes
en la mayoría de las personas examinadas, sugiere que la mayoría de la gente está expuesta a estas sustancias químicas diariamente.

Las personas se exponen a los pesticidas PO a través de las verduras frescas y procesadas que consumen, las superficies contaminadas que tocan, el aire

contaminado que respiran cerca de donde se aplican los pesticidas (dentro y afuera de los edificios) y el agua contaminada que beben.

Químicamente, los PO´s son similares a las armas químicas que se produjeron originalmente durante la Segunda Guerra Mundial y actúan bloqueando el sistema nervioso de los insectos, así como el de los mamíferos, las aves y los peces. Los compuestos organofosforados inhiben la producción de una enzima llamada colinesterasa (ChE, por sus siglas en inglés), cuya función es la de asegurar que la señal química que causa un impulso nervioso se interrumpa en el momento apropiado.

Los PO´s se clasifican entre los pesticidas más tóxicos. En su gran mayoría la 'Environmental Protection Agency' agencia de protección medioambiental de los Estados Unidos los ha categorizado en las clases I de toxicidad (altamente tóxicos) o clase II de toxicidad (moderadamente tóxicos). Además, causan daños reproductivos y al desarrollo, otros son carcinógenos y de algunos se sospecha o se ha confirmado que interfieren con el sistema endocrino. [60].

Algunos de los productos más comunes que comprende este grupo de organofosforados son: Paratión, Malathion, Metilparatión, Octa metil pirofosfato (OMPA), Fenitrotión, Ronnel, dimetoato, triclorfón, y fentión y entre otros. [150].

La estabilidad de pesticidas organofosforados en agua y la posibilidad de que sus metabolitos producidos por rompimiento de estos insecticidas en suelo pueda ser fuente de envenenamiento, se confirmó al verse la necesidad de investigaciones con respecto a su naturaleza estable en el ambiente y las discrepancias entre la Inspección de Pesticidas Nacionales (NPS) y la Comisión de la Comunidad Europea (CEC). Muchos de estos compuestos se incluyen en la lista de la EPA como contaminantes potenciales. (Lacorte y col. 1995). [197].

4.3.2. Pesticidas Organoclorados.

Los pesticidas organoclorados son insecticidas compuestos principalmente por carbono, hidrógeno y cloro. Su descomposición es muy lenta y persisten en el

ambiente mucho tiempo después de su aplicación, y en los seres vivos mucho después de que estos han sido expuestos a ellos.

El más dañino de los insecticidas organoclorados es el DDT (dicloro difenol tricloroetano), promovido como una solución universal durante la década de los 40, ampliamente empleado en la agricultura a nivel mundial por muchos años y el arma principal en la "guerra mundial contra la malaria" durante el mismo período.

Con la publicación del libro "The Silent Spring" (la primavera silenciosa) por Rachel Carson en el año 1962, la conciencia pública sobre los peligros de los pesticidas aumentó, especialmente en relación a los organoclorados persistentes como el DDT. Debido a las pruebas científicas que vinculaban al DDT con daños a la vida silvestre, este pesticida fue prohibido en muchos países durante los años 70. Desde entonces, es ilegal su uso en la agricultura a nivel mundial. A partir de 1995, ha sido retirado en 59 países, severamente restringido en 20 de ellos. Sin embargo, sigue utilizándose en algunos países en vías de desarrollo.[106].

Entre los otros pesticidas organoclorados prohibidos en los Estados Unidos están el aldrín, el dieldrín, el toxafeno, el clordano y el heptacloro. Sin embargo, hay otros que todavía se utilizan, como el lindano, el endosulfano, el dicofol, el metoxicloro y el pentaclorofenol.

A nivel mundial, los organoclorados están entre las sustancias químicas que se encuentran con mayor frecuencia en cientos de pruebas realizadas de los tejidos humanos, como la sangre, los tejidos grasos y la leche materna, debido a que su estructura química, se descomponen muy lentamente, se acumulan en los tejidos grasos y persisten durante mucho tiempo. [174].

Se han relacionado con la exposición a estos compuestos, varias clases de cáncer, daños neurológicos (varios organoclorados son neurotoxinas), el mal de Parkinson, defectos de nacimiento, enfermedades respiratorias y anormalidades en el sistema inmunitario. Muchos organoclorados son, o se sospecha que sean, interruptores endocrinos, e investigaciones recientes han demostrado que una

exposición a concentraciones extremadamente pequeñas en el vientre materno, puede causar daños irreversibles a los sistemas inmunitario y reproductivo del feto. [192].

4. 4. PCB´s.

Los PCB´s (Bifenilos Policlorados o policlorobifenilos), se refieren a un grupo de 209 isómeros obtenidos mediante la cloración de los bifenilos y se caracteriza por el contenido de clorina.

Son considerados compuestos peligrosos debido a su persistencia en el medio ambiente, por su capacidad de bioacumularse en las cadenas alimenticias, no degradarse en el ambiente y causar efectos adversos o tóxicos en organismos expuestos a estas sustancias. Su fórmula molecular general es: $C_{12}H_{(8-X)}Cl_{(2+X)}$

Los PCB´s se caracterizan por su gran estabilidad en el medio ambiente, su alto potencial de bioacumulación y su resistencia a biodegradarse.

Además, estos compuestos no tienen tendencia a disolverse en agua y tienden a evaporarse con facilidad a partir del medio acuático.. A temperaturas altas, los PCB´s pueden arder y generar subproductos peligrosos como las dioxinas.

Al tener una baja solubilidad en agua, tienen tendencia a adsorberse en partículas y sedimentos. El transporte de los PCB´s se produce principalmente por el movimiento aire-agua y por el movimiento de suelo producido por la erosión o la acción de corrientes y mareas. El transporte atmosférico se considera el principal medio de contaminación de los ecosistemas remotos.

Se ha identificado el ciclo que siguen muchos compuestos clorados, entre los que se incluyen los PCB´s, que consiste en su evaporación lenta desde los países templados para ser transportados y condensados en países fríos, e incluso llegando a las regiones polares amenazando las cadenas tróficas del Ártico y del Antártico. [106].

En el aire, los PCB se descomponen por efecto indirecto de la luz solar. El tiempo necesario para que la mitad de la cantidad inicial se descomponga, varía entre

unos pocos días y unos pocos meses, en función del tipo concreto de PCB. En el agua, su descomposición es más lenta, y puede producirse por acción de la luz solar o de los microorganismos. Estos organismos desempeñan un papel importante en la descomposición de los PCB en suelos y sedimentos.

La evidencia de la toxicidad de los PCB´s se reveló a inicios de la década del 70 y se empezó a retirarlos. En 1976, bajo el Acta de Control de Substancias Tóxicas (The 1976 Toxic Substances Control Act) en Estados Unidos se prohibió la producción, manipulación, distribución y comercialización de los PCB´s. La misma prohibición se dio en el Reino Unido en 1986 como parte de una iniciativa de la Comunidad Económica Europea, CEE; sin embargo, se reconoció que los PCB´s seguirían existiendo en equipos ya construidos, por lo que el Reino Unido y otros países del Mar del Norte determinaron en la Tercera Conferencia del Mar del Norte de 1990, encarar y destruir definitivamente los PCB´s a fines de 1999 y para los países que no pertenecen al Mar del Norte y que participaron de la Convención de París, hasta el año 2010.

Debido a la demostrada peligrosidad de estos compuestos tanto para la salud humana como para el medio ambiente, numerosos países, entre los que se encuentra el Estado Español, firmaron un acuerdo para la eliminación de PCB´s antes del año 2010 (Acuerdo Parcon 92/3).

Existe además una propuesta comunitaria con rango de Directiva europea en la que se obligaba a los estados miembros a eliminar todos los compuestos de PCB´s antes del año 2010. Recientemente, los expertos de la Comisión Económica de la ONU para Europa, han reconocido la necesidad de alcanzar un acuerdo para reducir los efectos de doce contaminantes persistentes, entre los que se consideran los PCB´s.

Se estima que del total de PCB´s producidos en el planeta, en torno a 1,2 millones de toneladas, el 65% aún se encuentra en equipo eléctrico o almacenado controlada e incontroladamente, un 4% ha sido degradado e incinerado y un 31% se encuentra distribuido en el medio ambiente (principalmente como sedimentos y en aguas marinas), [29].

En los animales, algunos PCB´s tienen acción cancerígena, teratógena e inmuno depresiva. El efecto de biomagnificación, es decir, el aumento de la concentración de PCB´s a medida que se asciende en la cadena trófica, constituye uno de los mayores riesgos para los seres vivos. Los animales mamíferos marinos, como los delfines o las ballenas, son objetivos claros de biomagnificación de PCB´s, cuando se superan umbrales de toxicidad críticos (aproximadamente 50 ppm). Este hecho pone en peligro la supervivencia de numerosas especies, incluso en lugares tan remotos como en el Ártico, como por ejemplo, los osos polares. [28].

Cantidades sustanciales de éstos compuestos son depositadas en los bosques. Los contaminantes son adsorbidos del aire en la superficie de las hojas. El estudio de bioindicación en plantas es una herramienta adecuada para cuantificar y reflejar la contaminación atmosférica, [49], [197].

Los humanos son expuestos a los PCB´s a través de diversas vías, principalmente vía inhalación y vía ingestión de alimentos, y en particular de pescado. Los PCB´s son lipofílicos, por lo que tienden a acumularse en los tejidos grasos. Estos compuestos son capaces de atravesar la placenta y de ser expulsados a través de la leche materna.

Se han detectado concentraciones muy elevadas en la leche de mujeres nativas del norte de Labrador (norte de Canadá), hasta 15 ppm; mientras que en mujeres de Québec, se encontraban menos de 1 ppm (en Canadá, la ley exige que la leche de vaca contenga menos de 0,2 ppm).

Los PCB´s causan cáncer en el hígado, el pulmón y la piel, y se han asociado al cáncer de pecho. Existen estudios que relacionan los PCB´s al cáncer de cerebro y de melanoma en trabajadores y trabajadoras expuestos a estas sustancias.

Entre otros efectos que causan los PCB´s, se encuentran: lesiones cutáneas (cloracné), efectos estrogénicos, reducción de la respuesta inmunológica, reducción de la capacidad pulmonar, inflamación y ardor de ojos, lesiones hepáticas, espasmos

musculares, dolores abdominales, debilidad, náusea, dolor de cabeza, impotencia e insomnio. Se ha constatado la relación entre amenaza de aborto y cantidad de PCB sanguíneo. En una empresa americana donde los trabajadores habían estado expuestos a PCB´s se observó un aumento de melanomas malignos y cánceres de páncreas. [65].

Capítulo V:

Metodología

Capítulo V: Metodología.

5. 1. Parte Experimental.

5. 2. Fundamentos y Equipo Utilizado.

- 5. 2. 1. Clorofila y Feofitina.
- 5. 2. 2. Nitrógeno y Azufre.
- 5. 2. 3. Metales.
- 5. 2. 4. HAP´s, Pesticidas y PCB´s.

5. 3. Metodología de campo.

- 5. 3. 1. Recubrimiento y vitalidad.

5. 4. Comparación entre Líquenes de Géneros Diferentes.

5. 1. Parte Experimental.

En el presente trabajo se estudia el efecto de la contaminación atmosférica sobre líquenes en el entorno de un área industrial al sur de Gran Canaria (alrededor del área de influencia de la Central Térmica de Barranco de Tirajana). Para el citado estudio, se establecieron 12 estaciones de muestreo con el fin de seguir a lo largo del tiempo el recubrimiento y vitalidad de las especies de líquenes; de manera especial, cuándo se encontraban presentes, las especies fructiculosas cuya interrelación con el medio atmosférico es mayor.

La metodología del estudio se basa en acciones de campo y estudios físico-químicos de laboratorio. Para ello se colocaron, en donde fue posible, rejillas de seguimiento sobre especies representativas y con un índice de abundancia comparables con las distintas estaciones en estudio.

El método de campo utilizado se basa en un estudio fotográfico a lo largo del tiempo y el establecimiento de porcentajes de recubrimiento que ayuden a reconocer, a lo largo del ciclo biológico, los posibles efectos atmosféricos (humedad, temperatura, contaminantes, etc.).

Se analizarán al mismo tiempo, algunos parámetros fisicoquímicos, que nos indiquen de forma cuantitativa, la bioacumulación de contaminantes atmosféricos en líquenes recolectados en los alrededores de las rejillas fijadas en cada estación: metales pesados, SO_2, NO_x, (en forma de N y S), HAP´s, Pesticidas Organofosforados y Organoclorados y PCB´s. Además de obtener el radio de densidades ópticas de clorofila *a* /feofitina *a,* y la concentración de cada una de ellas, las cuales nos indican el grado de vitalidad de los líquenes en estudio.

Se ha seguido la evolución en la concentración de dichos compuestos durante los años 2005, 2006, 2007, 2008, 2010 y 2013 en períodos húmedos y secos de cada año, a excepción de los dos últimos años, en los que sólo se realizaron muestreos en el período seco.

5. 2. Fundamentos y Equipo utilizado.

Con el objetivo de determinar los efectos que la contaminación atmosférica tiene sobre los bioindicadores liquénicos de la zona, se procederá a aplicar diferentes métodos para cuantificar algunos parámetros fisicoquímicos clave, que nos permitan sacar conclusiones de la bioacumulación de contaminantes atmosféricos en los líquenes.

Estos son: Clorofila *a*, Feofitina *a*, Nitrógeno, Azufre, Metales Pesados: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, vanadio y plomo, HAP´s, pesticidas organofosforados, pesticidas organoclorados, y PCB´s.

A su vez, se realizaron pruebas de Recubrimiento y Vitalidad, con el fin de observar, desde el punto de vista biológico, el deterioro de los líquenes debido a la exposición a los contaminantes atmosféricos.

5. 2. 1. Clorofila y Feofitina.

El estudio de la clorofila por el método espectrofotométrico que será el descrito, comprende los siguientes pasos: **extracción de pigmentos** y **determinación espectrofotométrica**. El Método utilizado ha sido modificado para su utilización en muestras de líquenes por el equipo de investigación de CAFMA. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España.) basado en el procedimiento descrito en el libro Métodos Estándar para Aguas y Aguas Residuales,[120].

Figura 7. Espectrofotómetro ultravioleta-visible UV-Visible *(DU 800 UV-Visible, BECKMAN COULTER).*

5. 2. 2. Nitrógeno y Azufre.

5. 2. 2. 1 Analizador elemental.

Este método nos permite cuantificar la contaminación atmosférica ocasionada por **NO_x y SO_2**. El método analítico está basado en la completa e instantánea oxidación de la muestra por combustión tipo flash que convierte todas las sustancias orgánicas e inorgánicas en productos de combustión.

Los gases resultantes de la combustión pasan a través de un horno reductor y de una columna cromatográfica mediante el gas portador (helio). En la columna son

separados y detectados por un detector de conductividad térmica (TCD). El detector da una señal proporcional a la concentración de los componentes individuales de la muestra.

Existen diferentes técnicas para la determinación de C H N, C H N S y para la determinación de oxígeno. En este caso, se utilizó un analizador elemental. El análisis elemental es una técnica que proporciona el contenido total de carbono, hidrógeno y nitrógeno presente en un amplio rango de muestras de naturaleza orgánica e inorgánica tanto sólidas como líquidas. La técnica está basada en la completa e instantánea oxidación de la muestra mediante una combustión con oxígeno puro a una temperatura aproximada de 1000ºC. Los diferentes productos de combustión CO_2, H_2O y N_2, son transportados mediante el gas portador (He) a través de un tubo de reducción y después selectivamente separados en columnas específicas para ser luego desorbidos térmicamente. Finalmente, los gases pasan de forma separada por un detector de conductividad térmica que proporciona una señal proporcional a la concentración de cada uno de los componentes individuales de la mezcla.

El analizador elemental EA 1108 tiene la configuración C H N S-O: puede realizar análisis de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre en un solo análisis y alternativamente puede determinar oxígeno en un segundo análisis de muestra cambiando la columna que funciona como reactor.

Figura 8. Analizador elemental Carlo Erba modelo CHNS-O EA1108, provisto de automuestrador.

5. 2. 3. Metales.

5. 2. 3. 1. Absorción atómica.

La espectroscopía de absorción atómica (a menudo llamada AA) es un método que utiliza comúnmente un nebulizador pre-quemador (o cámara de nebulización) para crear una niebla de la muestra y un quemador con forma de ranura que da una llama con una longitud de trayecto más larga.

5. 2. 3. 1. 1. Cámara de Grafito.

La temperatura de la llama es lo bastante baja para que la llama de por sí, no excite los átomos de la muestra de su estado fundamental. El nebulizador y la llama se usan para desolvatar y atomizar la muestra, pero la excitación de los átomos del analito es hecha por el uso de lámparas que brillan a través de la llama a diversas longitudes de onda para cada tipo de analito.

En la AA, la cantidad de luz absorbida después de pasar a través de la llama determina la cantidad de analito en la muestra. Una mufla de grafito para calentar la muestra a fin de desolvatarla y atomizarla se utiliza comúnmente hoy en día para aumentar la sensibilidad. El método del horno de grafito puede también analizar algunas muestras sólidas o semisólidas. Debido a su buena sensibilidad y selectividad, sigue siendo un método de análisis comúnmente usado para ciertos elementos traza en muestras acuosas (y otros líquidos). Se aplicó este método con dos equipos diferentes, para analizar todos los metales en líquenes a excepción del Hg que se analizó con la técnica de generación de hidruros.

Pocos elementos pueden ser atomizados por una reacción química que produce un producto volátil. Elementos como As, Se, Sb, Bi, Ge, Sn, Te y Pb forman hidruros volátiles tanto a la flama como en una observación de un tubo de cuarzo calentado en la trayectoria óptica. El Hg es determinado por un método de vapor frío, en el que es reducido a mercurio elemental con Sncl2. El mercurio volátil es acarreado

por un gas inerte, a un tubo de observación situado en la trayectoria óptica del instrumento.

5. 2. 3. 1. 2. Atomización con Llama.

En un atomizador con llama, la disolución de la muestra es nebulizada mediante un flujo de gas oxidante mezclado con el gas combustible y se transforma en una llama donde se produce la atomización. El primer paso es la desolvatación en el que se evapora el disolvente hasta producir un aerosol molecular sólido, finamente dividido. Luego, la disociación de la mayoría de estas moléculas produce un gas atómico. Sobre el vapor atómico originado se hace incidir la radiación electromagnética, que será absorbida parcialmente por el analito. La absorción atómica en llama está directamente relacionada con la concentración del analito en la disolución problema.

Para el análisis de As, Cd., Cu, Cr, Ni, Pb, y V se usaron dos cámaras de grafito, una de ellas con corrector de fondo de lámpara de deuterio Perkin-Elmer HGA900 y otra con corrector de fondo Zeeman Varian 240Z. En ambas, se utilizaron tubos de grafito con y sin plataforma y diferentes mezclas de modificadores químicos.

Para el análisis de Hg se utilizó el generador de hidruros FIAs100 de Perkin-Elmer acoplado al AAnalyst 400 de Perkin-Elmer, utilizando lámparas de descarga de electrodos. A continuación se muestran los equipos utilizados para el análisis de metales.

Figura 9. Espectroscopio de Absorción Atómica AA (GBC 904 AA) con cámara de grafito.

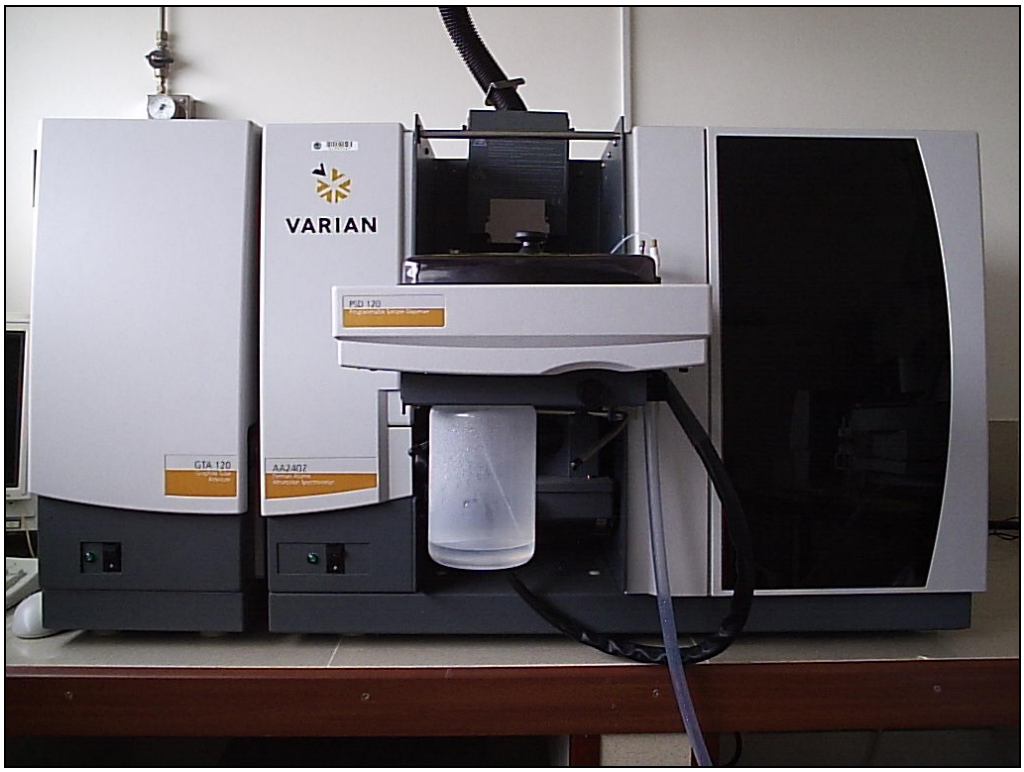


Figura 10. Espectroscopio de Absorción Atómica Varian AA240Z con cámara de grafito GTA120.

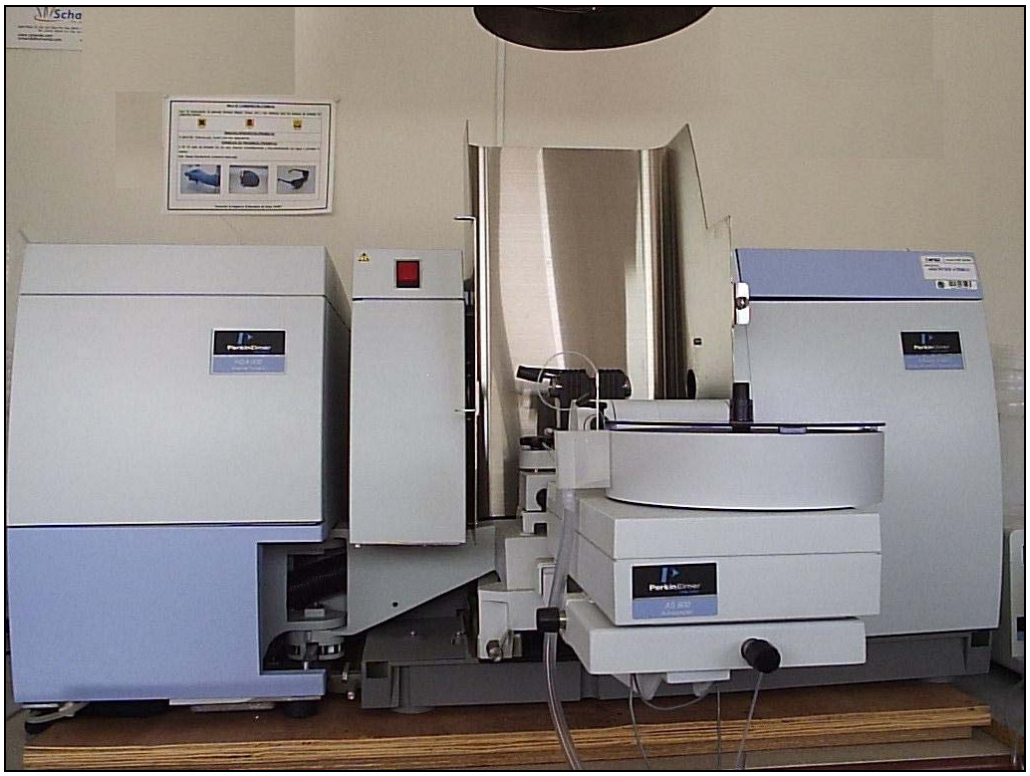


Figura 11. Espectroscopio Perkin Elmer Analyst 400 con llama, con el software WINLAB32 for AA Flame, con generación de hidruros.

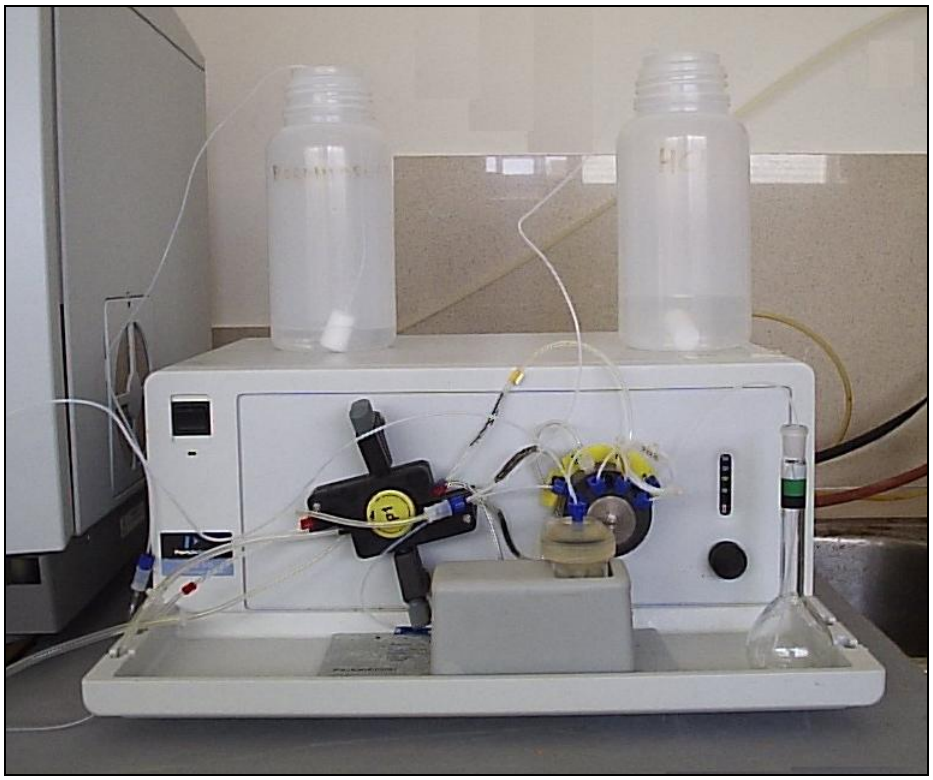


Figura 12. Espectroscopio Perkin Elmer Aanalyst 400 con llama, con generación de hidruros.

5. 2. 4. HAP´s, Pesticidas y PCB´s.

5. 2. 4. 1. Cromatografía de Gases Masa.

La Cromatografía Gaseosa (CG), es una técnica utilizada para la separación y análisis de mezclas de sustancias volátiles. La muestra es vaporizada e introducida en un flujo de un gas apropiado denominado de fase móvil (FM) o gas de arrastre. Este flujo de gas con la muestra vaporizada, pasa por un tubo conteniendo la fase estacionaria FE (columna cromatografiílla), donde ocurre la separación de la mezcla. La FE puede ser un sólido adsorbente (Cromatografía Gas-Sólido) o, más comúnmente, una película de un líquido poco volátil, soportado sobre un sólido inerte (Cromatografía Gas-Líquido con Columna Empaquetada o Rellenada) o sobre la propia pared del tubo (Cromatografía Gaseosa de Alta Resolución).

En la cromatografía gas-líquido (CGL), los dos factores que gobiernan la separación de los constituyentes de una muestra son:

- solubilidad en la FE: cuanto mayor es la solubilidad de un constituyente en la FE, éste avanza más lentamente por la columna.

- volatilidad: cuanto más volátil es la sustancia (o, en otros términos, cuanto mayor es la presión de vapor), mayor es su tendencia de permanecer vaporizada y más rápidamente avanza por el sistema.

Las sustancias separadas salen de la columna disueltas en el gas de arrastre y pasan por un detector; dispositivo que genera una señal eléctrica proporcional a la cantidad del material eluído. El registro de esta señal en función del tiempo es el cromatograma, en donde las sustancias aparecen como picos con áreas proporcionales a sus masas, lo que posibilita el análisis cuantitativo.

Para el presente estudio, se ha utilizado la cromatografía de gases-masas/masas. Las ventajas de usar el detector de masas es que la cuantificación y la

confirmación de los pesticidas en las muestras analizadas se pueden dar con una medida sencilla y con un elevado nivel de confianza.

El análisis del extracto sólido (liquen) mediante un sistema de CG-MS, que presenta una elevada reproducibilidad de los tiempos de retención permite una cuantificación automatizada de muestras una vez establecidas las rectas de calibración pertinentes para cada analito a determinar.

La sensibilidad y selectividad de los procedimientos de extracción y purificación desarrollados con el empleo de técnicas cromatográficas de análisis mediante espectrometría de masas (GC-MS), permite la confirmación inequívoca de los compuestos detectados.

También se ha utilizado para la detección una técnica más novedosa como la espectrometría en tándem masas (MS/MS), la cual se revela como una herramienta poderosa para el análisis de matrices complejas, ya que aporta un factor adicional por la realización del espectro de los iones secundarios formados a partir de un precursor seleccionado. La adecuada selección de los iones precursores y de los iones secundarios permite disponer de una de las técnicas más sensible y selectivas para trabajar con muestras complejas.

Se ha empleado un cromatógrafo de gases-masas de la casa Varian compuesto por tres módulos independientes: módulo CP-3800 Varian, con su inyector capilar 1079, módulo CP-8200 Varian Autosampler y módulo Saturn 2000 Varian.

La columna empleada en los análisis es una chrompack CP-sil 8 CB low bleed/MS, con una longitud de 30 metros, un diámetro interno de 0.25 mm y diámetro externo de 0.39 mm y un espesor de recubrimiento de 0.25 micras. Como gas portador se ha usado el helio con una pureza del 99,99%. El software utilizado es el SATURN WS 5.4.

Para la extracción y análisis de los contaminantes orgánicos se realizaron técnicas de extracción líquido-líquido con disolventes orgánicos y se utilizó la micro-extracción en fase sólida (SPME). Esta última técnica presenta una serie de ventajas

como rapidez, sensibilidad, ecológica al no usar disolventes orgánicos y una serie de inconvenientes respecto a la extracción líquido-líquido como pueda ser reproducibilidad y versatilidad. Así pues, cuando tengamos una matriz de analitos muy diferentes tendremos que usar varias fibras de SPME o usar la inyección líquida.

Figura 13. Cromatógrafo de gases-masas/masas CG-MS/MS (Varian CP-3800 con detector MS/MS SATURN 2000.

5. 3. Metodología de campo.

5. 3. 1. Recubrimiento y vitalidad.

Algunos investigadores han usado la fotografía como una manera de supervisar la calidad del aire [86]. Así, se puede obtener con el tiempo una colección

fotográfica con el fin de comparar la tasa de crecimiento y la condición de colonizarse del liquen individual. Debe tenerse cuidado al distinguir entre la contaminación del aire y los efectos o tensiones que puedan suscitarse dentro del hábitat del liquen.

Para el trabajo de campo de los bioindicadores liquénicos, hay que destacar que el estudio se puede realizar sobre líquenes saxícolas (sobre rocas) y líquenes epifíticos (sobre corteza de árboles).

Los métodos que se han utilizado para su estudio son: **fotográficos, y determinaciones de cobertura y/o frecuencia.**

Habitualmente, suelen utilizarse los epífiticos sobre troncos para cuantificar la diversidad de las comunidades liquénicas en una determinada localidad. Sin embargo, en el sur de Gran Canaria (área objeto a estudio), predominan los líquenes sobre roca o sobre suelos, por lo que este método no resulta ser el adecuado. Sólo aparecen líquenes epífiticos en cotas muy elevadas, representadas en la localidad de muestreo denominada “Pico de las Nieves”, (Estación 10), tras realizar una intensa campaña de prospección de líquenes epifitos en el sur de la isla.

Así mismo tanto en esta estación 10, cómo en las demás estaciones, se han seguido de dos a cuatro inventarios por localidad, con un total de 59 rejillas como unidad de esfuerzo,. En cada inventario se han estudiado las especies mas afines entre estaciones mediante su identificación visual.

Se fotografiaron las especies más abundantes y representativas de las distintas estaciones en estudio, mostrándose el recubrimiento liquénico en cada rejilla; coincidiendo entre períodos húmedos y secos (cuándo fue posible el muestreo).

Hay que considerar que para los talos crustáceos, generalmente la diferencia es inapreciable entre los periodos analizados. Sin embargo, en los talos foliáceos, tipo *Xanthoria parietina*, sí que se observan, en ocasiones diferencias entre los muestreos. Se compararán el período húmedo correspondiente al año en que se iniciaron los muestreos (2005) con el período seco del último año de investigación fotográfico

(2010), con el fin de obtener un resultado global de los efectos durante este intervalo de trabajo. Durante el año 2013, no fue posible efectuar el estudio fotográfico.

A continuación se muestran los criterios para el estudio de los bioindicadores liquénicos.

5. 3. 1. 1. Criterios para líquenes sobre rocas.

El muestreo de líquenes sobre rocas (saxícolas), que cómo se ha indicado, son más abundantes comparados con los epifíticos (sobre árboles) en la zona a estudio, se ha realizado como sigue:

- Se realizó un inventario de cada una de las especies existentes en las localidades de muestreo.

- Se llevaron a cabo muestreos preliminares en función de los períodos húmedos y secos.

- Se analizó el grado de recubrimiento (cobertura). Para ello, se determinaron los índices de abundancia, que se determinan de acuerdo con los siguientes criterios, descritos en la siguiente tabla:

Índice	Tipo de recubrimiento
5	Recubrimiento superior al 75%, independiente del nº de individuos
4	Recubrimiento entre el 50 y el 75 %
3	Recubrimiento entre el 25 y el 50 %
2	Recubrimiento entre el 10 y el 25 % o individuos abundantes
1	Recubrimiento muy escaso, entre 1 y el 10 %
+	Recubrimiento insignificante < 1%

Tabla 7. Tipo de recubrimiento.

Se utilizó una malla de 32 x 50 cm con tamaño de cuadrícula de 8 x 12,5 cm. La cuadrícula se dispone sobre la roca siempre en el mismo sitio, pata así poder comparar las fotografías a lo largo del tiempo.

Figura 14. Detalle de rejilla utilizada.

5. 3. 1 . 2. Criterios para líquenes sobre árboles.

Se debe recalcar que, la única localidad de muestreo en la que se ha podido realizar un estudio preliminar de líquenes sobre árboles (epifíticos), ha sido la Estación Nº 10 (Pico de Las Nieves). Se seleccionaron al azar 10 árboles en un radio de 25 m, alrededor del punto central, con requisitos de diámetro, inclinación, adecuados. Para el estudio se utilizó una retícula de 25 x 60 cm, subdividida en 10 subcuadrados iguales, que se disponen en el tronco del árbol a 120 cm del suelo y en la cara que posea mayor cobertura liquénica.

Se realizó un muestreo tres especies diferentes, (Parmelia, Usnea y Lobaria) con el fin de comparar la bioacumulación de contaminantes entre ellas. Esta estación

sirve como punto de referencia, pero no es relevante para el estudio de las otras estaciones.

Figura 15. Rejilla utilizada para líquenes epifíticos.

.

5. 4. Comparación entre Líquenes de Géneros Diferentes.

Se comparan tres Géneros de líquenes dentro de una misma estación (Pico de las Nieves) con el fin de determinar las diferencias de bioacumulación de los mismos contaminantes, anteriormente mencionados, en un mismo tiempo de muestreo y bajo las mismas condiciones.

Esto, con la finalidad de sentar las bases de futuras líneas de investigación, enfocadas a estudiar los **líquenes epifíticos** del único lugar de la isla dónde pueden encontrarse.

La razón de esta elección, se debe a que la mayor parte de la Bibliografía, reporta interesantes estudios a nivel biológico utilizando este tipo de líquenes. Esto es debido a que, tienen interferencias menores de contaminación proveniente del suelo, y suelen captar la contaminación directamente del aire. Y esta bioacumulación depende de las características específicas de cada género e inclusive, de cada especie de un mismo género. [18].

Se eligieron tres tipos de líquenes de los Géneros *Parmelia*, *Usnea*, y *Lobaria* que fueron encontrados en mayor cantidad en los árboles de la citada Estación 10, Pico de las Nieves.

Capítulo VI:

Resultados y Discusiones

Capítulo VI: Resultados y Discusiones.

6. Resultados y Discusiones.

6. 1. Resultados del Estudio Fotográfico.

6. 2. Medidas de Humedad Relativa.

6. 3. Rosa de los Vientos.

6.4. Resultado del Estudio Químico.

- 6.4.1. Azufre.
- 6.4.2. Nitrógeno.
- 6.4.3. Clorofila.
- 6.4.4. Feofitina.
- 6.4.5. Arsénico.
- 6.4.6. Cadmio.
- 6.4.7. Cobre.
- 6.4.8. Cromo.
- 6.4.9. Mercurio.
- 6.4.10. Níquel.
- 6.4.11. Plomo.
- 6.4.12. Vanadio.
- 6.4.13 HAP´s, Pesticidas Organoclorados, Pesticidas Organofosforados y PCB´s.

6.5. Discusión final.

- 6.5.1. Aspectos a tomar en cuenta para la discusión final.
- 6.5.2. Distribución de contaminantes.

6. Resultados y Discusiones.

Durante los años: 2005, 2006, 2007, 2008, 2010 y 2013 se han efectuado dos análisis diferentes con sus respectivos muestreos: por una parte, se han llevado a cabo inventarios fotográficos con objeto de observar los posibles **cambios en cobertura y vitalidad** de las especies representativas en las diferentes estaciones de muestreo en estudio; y por otra parte, se han recolectado diversas especies en dichas estaciones, para proceder a analizar el contenido de **concentración de contaminantes** en las mismas en Azufre, Nitrógeno, metales pesados: Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre Níquel, Vanadio y Plomo; así como su contenido en Clorofila y Feofitina (pigmento que proviene de la degradación de la clorofila, por influencias de la contaminación).

Así mismo, se analizaron los HAP´s, PCB´s , Pesticidas Organoclorados y Pesticidas Organofosforados, pero dichos análisis se efectuaron, sólamente, durante los años 2005, 2006, 2007, 2008, 2010. Todos los procedimientos utilizados para la obtención de dichos parámetros se describen en los Anexos 2 y 3.

Igualmente, para el análisis fotográfico, dichos muestreos se llevaron a cabo, durante los años 2005, 2006, 2007 y 2008 en períodos húmedos y períodos secos, y en el caso del año 2010, únicamente durante el período seco.

Se describen los resultados obtenidos del muestreo fotográfico llevado a cabo durante el período de años en estudio y su evolución con respecto a los estudios realizados en el año 2005 (punto de inicio del estudio), finalizando con los resultados obtenidos durante el período seco del año 2010. En la exposición de los resultados, se ha tenido en cuenta a las **especies más abundantes y representativas** entre las distintas estaciones, con el fin de mostrar los aspectos más relevantes. Con dicho fin, se eligió en cada estación, la rejilla más idónea, la cual pudiera representar con más precisión la evolución de los líquenes con respecto al tiempo y a la exposición y acumulación de los contaminantes.

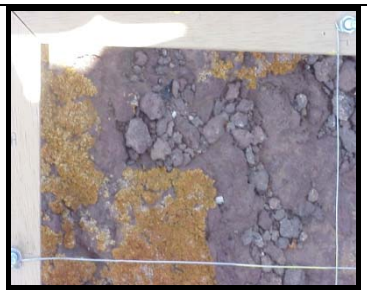
6. 1. Resultados del estudio fotográfico.

A continuación, se muestran las especies más abundantes y representativas de las distintas estaciones a estudio, indicando el recubrimiento liquénico en cada rejilla a estudio entre los periodos húmedos y secos entre el año 2005, 2007 y 2008 y el periodo seco analizado en el año 2010. Para el estudio comparativo fotográfico de las estaciones, se elige

solamente **una** de las rejillas más representativas tanto por la abundancia del talo foliáceo, como por la ubicación frente a la Central Térmica de Juan Grande.

ESTACION No. 1 PICO TABAIBAS.

Esta estación se encuentra localizada a una distancia de la Central Térmica de 8,2 Km, situación desde Central (W-WNW), y a una altitud de 519 m. Se muestra el estudio fotográfico comparativo de una rejilla de inventario de la estación de los años 2005, 2007 y 2008 (entre periodos húmedos y secos) y la fotografía del periodo seco del año 2010.

INVENTARIO 2, REJILLA a-1	
PERIODOS HÚMEDOS	**PERIODOS SECOS**
Año 2005	**Año 2005**
	
Año 2007	**Año 2007**
Año 2008	**Año 2008**

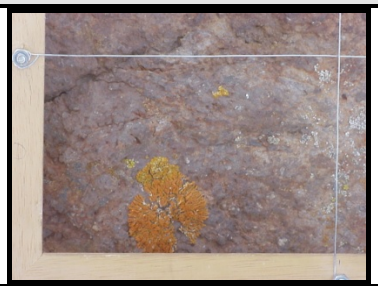
INVENTARIO 2, REJILLA a-1
PERIODO SECO
Año 2010

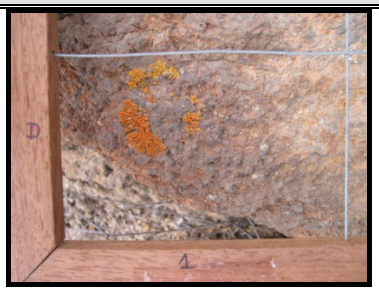
Haciendo una comparativa entre el año de inicio 2005, y los años 2007, 2008 y 2010: Se observa que el talo crustáceo de la *Xanthoria* mantiene su recubrimiento prácticamente igual en la rejilla de referencia, esto se observa en general, en todos los inventarios localizados en dicha estación. La rejilla a estudio (**a-1**) tiene un Índice de Recubrimiento = 3; es decir, el líquen recubre la superficie analizada entre el 25 y el 50% de la misma.

Las variaciones de coloración se deben a la diferencia de hidratación entre períodos húmedos y secos.

ESTACIÓN Nº 2: MONTAÑA CARBONERAS

Esta estación se encuentra localizada a una distancia a la Central Térmica de 8,7 Km, situación desde Central (NW), y una altitud de 512 m. Se muestra el estudio fotográfico comparativo de una rejilla de inventario de la estación de los años 2005, 2007 y 2008 (entre periodos húmedos y secos) y la fotografía del periodo seco del año 2010:

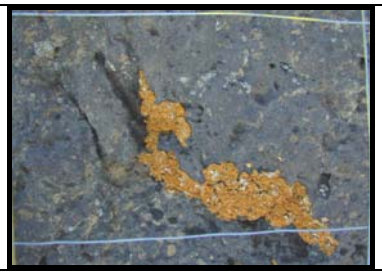
INVENTARIO 2, REJILLA d-1	
PERIODOS HÚMEDOS	**PERIODOS SECOS**
	
Año 2005	**Año 2005**
Año 2007	**Año 2007**
Año 2008	**Año 2008**

INVENTARIO 2, REJILLA d-1
PERIODO SECO

Año 2010

Se observa que el talo crustáceo de la *Xanthoria*, ve alterada su vitalidad en periodos secos. Con respecto al recubrimiento, se destaca que el mismo no ha sufrido cambios significativos en la rejilla de referencia (**d-1**), manteniéndose en un Índice de Recubrimiento = 1; es decir, muy escaso, entre el 1% y el 10% de recubrimiento en el área analizada, entre los años 2005, 2007, 2008 y 2010.

ESTACIÓN Nº 3: SANTA LUCÍA

Esta estación se encuentra localizada a una distancia de la Central Térmica de 14 Km, situación desde Central (NW-NNW), y una altitud de 800 m. Se muestra el estudio comparativo de una rejilla de un inventario de la estación entre los años 2005, 2007 y 2008 (entre períodos húmedos y secos) y el período seco del año 2010.

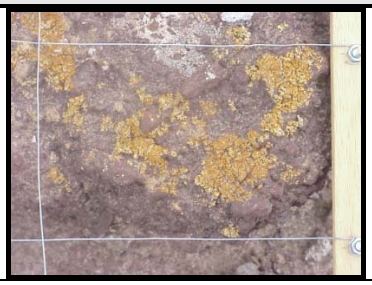
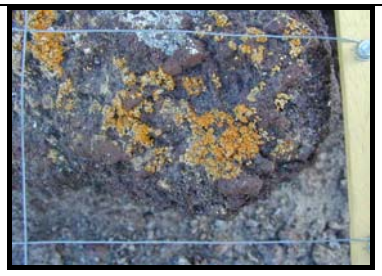
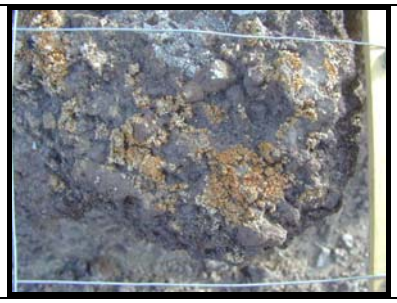
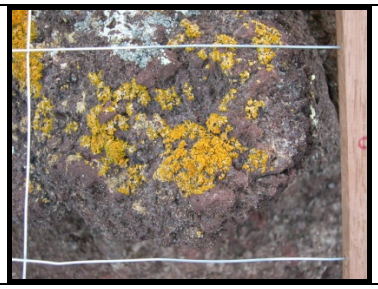
INVENTARIO 3, REJILLA b-1	
PERIODOS HÚMEDOS	**PERIODOS SECOS**
Año 2005	**Año 2005**
	
Año 2007	**Año 2007**
Año 2008	**Año 2008**

INVENTARIO 3, REJILLA b-1
PERIODO SECO
Año 2010

Se observa que el talo crustáceo de la *Xanthoria*, ve alterada su vitalidad en periodos secos. Con respecto al recubrimiento, se destaca que el mismo no ha sufrido cambios significativos en la rejilla de referencia entre los años 2005, 2007, 2008 y 2010. Se mantiene un Índice de Recubrimiento = 2; es decir, entre un 10% y 25 % de recubrimiento de la superficie de la rejilla (**b-1)** con respecto a individuos abundantes.

ESTACIÓN Nº 4: MONTAÑA ARINAGA

Se encuentra localizada a una distancia de la Central Térmica de 8,5 Km, situación desde Central (NNE-NE), y una altitud de 190 m. El estudio comparativo de una rejilla de un inventario de la estación entre el año 2005, 2007 y 2008 (entre períodos húmedos y secos) y el periodo seco del año 2010, se muestra a continuación:

INVENTARIO 3, REJILLA c-4	
PERIODOS HÚMEDOS	**PERIODOS SECOS**
	
Año 2005	**Año 2005**
	
Año 2007	**Año 2007**
	
Año 2008	**Año 2008**

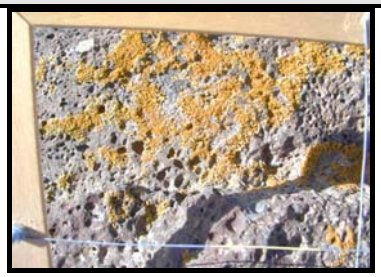
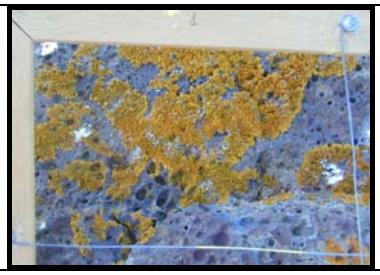
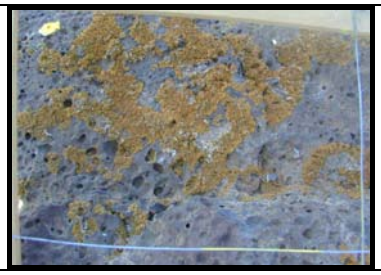
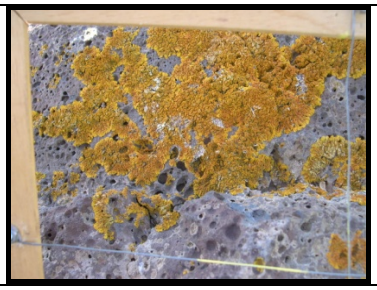
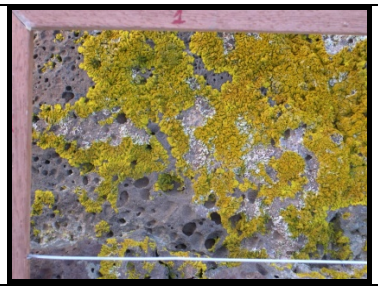
INVENTARIO 3, REJILLA c-4
PERIODO SECO
Año 2010

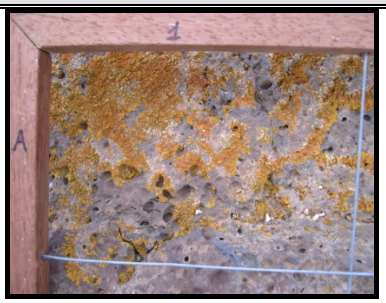
Se observa que el talo crustáceo de la *Xanthoria,* ve alterada su vitalidad tanto en periodos secos, y también como producto del transcurso de los años de estudio. Hay que considerar que ésta estación, se encuentra sometida a vientos constantes y con alto nivel de salinidad, por lo que, las variaciones en su vitalidad como en su recubrimiento, no se deben únicamente a cambios estacionales.

La rejilla a estudio (**c-4**) tiene un Índice de Recubrimiento = 3; es decir, el líquen recubre la superficie analizada entre el 25% y el 50% de la misma.

ESTACIÓN Nº 5: MONTAÑA AGÜIMES

Se encuentra localizada a una distancia a la Central Térmica de 11 Km, situación desde Central (N-NNE), y una altitud de 350 m. El estudio comparativo de una rejilla de un inventario de la estación entre el año 2005, 2007 y 2008 (entre períodos húmedos y secos) y el periodo seco del año 2010, se muestra a continuación:

INVENTARIO 2, REJILLA a-1	
PERIODOS HÚMEDOS	**PERIODOS SECOS**
	
Año 2005	**Año 2005**
	
Año 2007	**Año 2007**
	
Año 2008	**Año 2008**

INVENTARIO 2, REJILLA a-1
PERIODO SECO

Año 2010

Se observa que el talo crustáceo de la *Xanthoria,* ve alterada su vitalidad en periodos secos. Con respecto al recubrimiento, se destaca que el mismo no ha sufrido cambios significativos en la rejilla de referencia entre los años 2005, 2007, 2008 y 2010. La rejilla a estudio (**a-1**), posee un Índice de Recubrimiento = 4;; es decir, los líquenes recubren entre un 50% y un 75% de la superficie de la rejilla.

ESTACIÓN Nº 6: INGENIO-PASADILLA

Se encuentra localizada a una distancia de la Central Térmica de 15 Km, situación desde Central (NNW-N), y una altitud de 600 m. El estudio comparativo de una rejilla de un inventario de la estación entre los años 2005, 2007 y 2008 (entre períodos húmedos y secos) y el período seco del año 2010, se muestra a continuación:

INVENTARIO 2, REJILLA a-1	
PERIODOS HÚMEDOS	**PERIODOS SECOS**
Año 2005	**Año 2005**
Año 2007	**Año 2007**
Año 2008	**Año 2008**

.

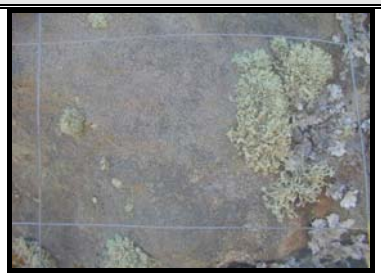
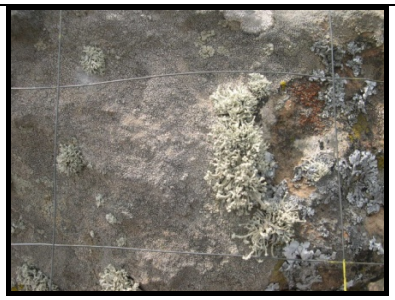
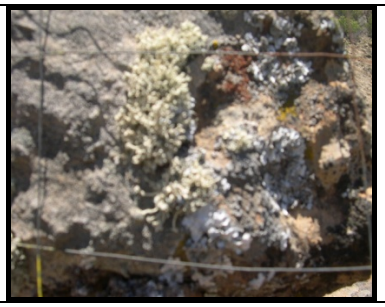
INVENTARIO 2, REJILLA a-1
PERIODO SECO
Año 2010

Se observa que el talo crustáceo de la *Xanthoria,* ve alterada su vitalidad en periodos secos. Con respecto al recubrimiento, se destaca que el mismo no ha sufrido cambios significativos en la rejilla de referencia entre los años 2005, 2007, 2008 y 2010.

La rejilla a estudio (**a-1**) tiene un Índice de recubrimiento = 3; es decir, el líquen recubre la superficie analizada entre el 25% y el 50% de la misma.

ESTACIÓN Nº 7: CRUZ GRANDE

Se encuentra localizada a una distancia de la Central Térmica de 21 Km, situación desde Central (WNW-NW), y una altitud de 1.240 m. El estudio comparativo de una rejilla de un inventario de la estación entre el año 2005, 2007 y 2008 (entre períodos húmedos y secos) y el periodo seco del año 2010, se muestra a continuación:

INVENTARIO 1A, REJILLA c-2	
PERIODOS HÚMEDOS	**PERIODOS SECOS**
	
Año 2005	**Año 2005**
Año 2007	**Año 2007**
	
Año 2008	**Año 2008**

INVENTARIO 1A, REJILLA c-2
PERIODO SECO
Año 2010

Se observa que el talo foliáceo de la *Ramalina,* ve alterada su vitalidad durante los periodos secos. Con respecto al recubrimiento, se destaca que el mismo no ha sufrido cambios significativos en la rejilla de referencia entre los años 2005, 2007, 2008 y 2010. La rejilla a estudio (**c-2**), posee un Índice de Recubrimiento = 4; es decir, los líquenes recubren entre un 50$ y un 75% de la superficie de la rejilla.

ESTACIÓN Nº 8: GITAGANA

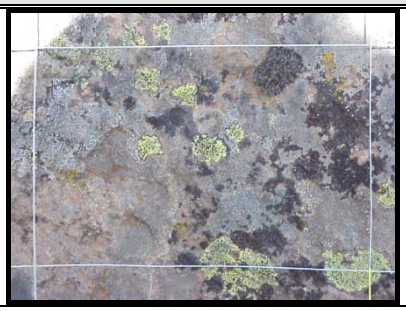
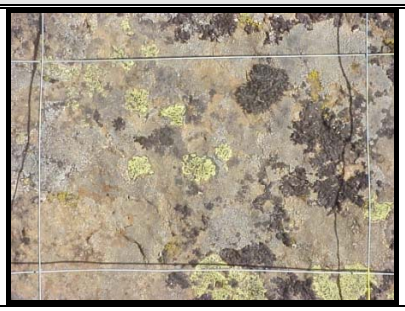
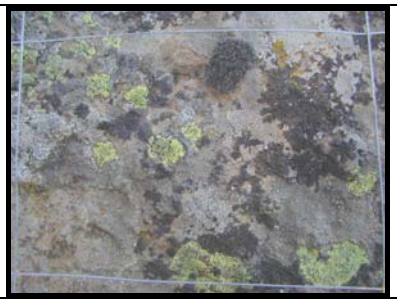
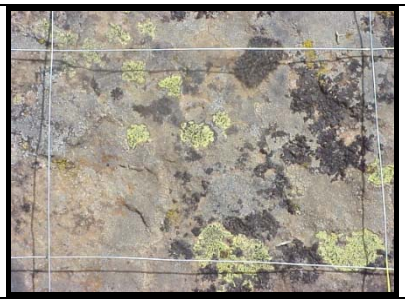
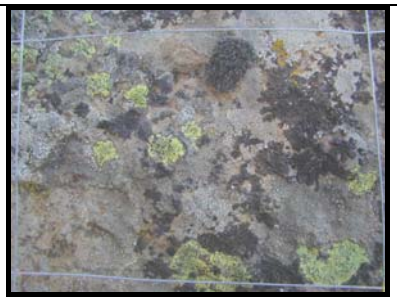
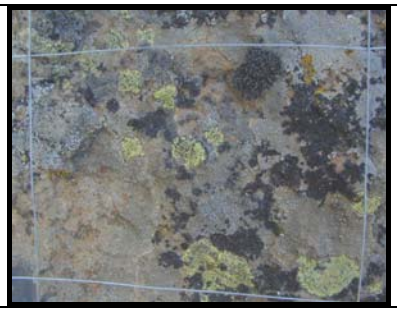
Se encuentra localizada a una distancia de la Central Térmica de 15 Km, situación desde Central (W-WNW), y una altitud de 350 m. No se puede mostrar el estudio fotográfico comparativo a lo largo de los años de estudio, debido a que no se realizan estudios de recubrimiento y vitalidad; pero si el estudio químico. Lo anterior es debido a la escasez de líquenes en esta zona.

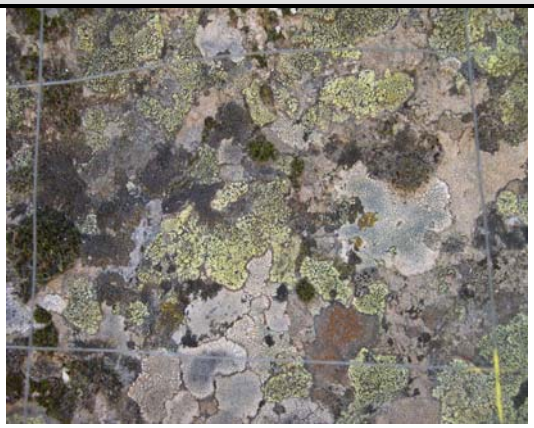
ESTACIÓN Nº 9: ALDEA BLANCA

Se encuentra localizada a una distancia de la Central Térmica de 23,5 Km, situación desde Central (WNW-NW), y una altitud de 160 m. No se puede mostrar el estudio fotográfico comparativo a lo largo de los años de estudio, debido a que no se realizan estudios de recubrimiento y vitalidad; pero si el estudio químico. Lo anterior se debe a la escasez de líquenes en esta zona.

ESTACIÓN Nº 10: PICO DE LAS NIEVES

Se encuentra localizada a una distancia de la Central Térmica de 23,5 Km, situación desde Central (NW-NNW), y una altitud de 1.700 m. El estudio comparativo de una rejilla de un inventario de la estación entre los años 2005, 2007 y 2008 (entre períodos húmedos y secos) y el período seco del año 2010:

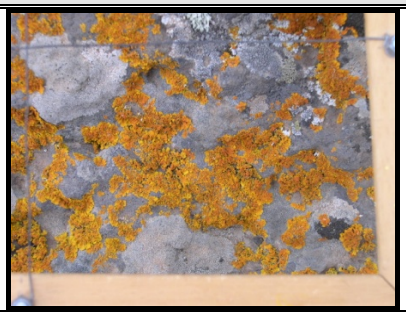
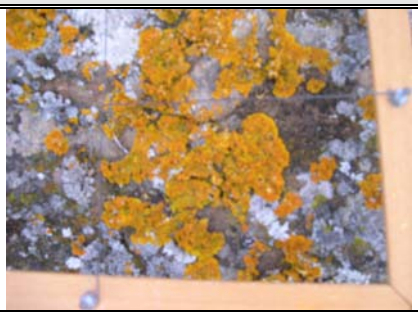
INVENTARIO 1A, REJILLA c-2	
PERIODOS HÚMEDOS	**PERIODOS SECOS**
	
Año 2005	**Año 2005**
	
Año 2007	**Año 2007**
	
Año 2008	**Año 2008**

INVENTARIO 1A, REJILLA c-2
PERIODO SECO

Año 2010

Se observa que el talo crustáceo no ve alterada su vitalidad en los distintos periodos secos. Con respecto al recubrimiento, se destaca que depende de los periodos húmedos, al verse influenciado por los briófitos (musgos), los cuales abarcan mayor superficie. La rejilla a estudio (**c-2**), posee un Índice de Recubrimiento = 4; es decir, los líquenes recubren entre un 50% y un 75% de la superficie de la rejilla.

ESTACIÓN Nº 11: INGENIO-CAZADORES

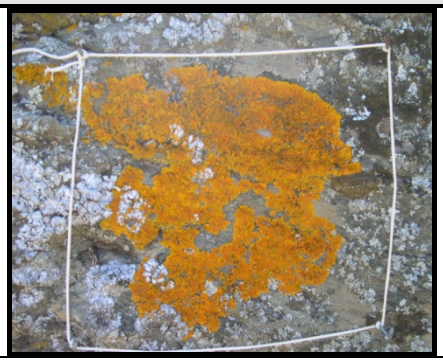
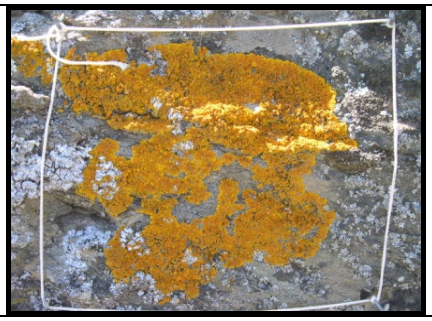
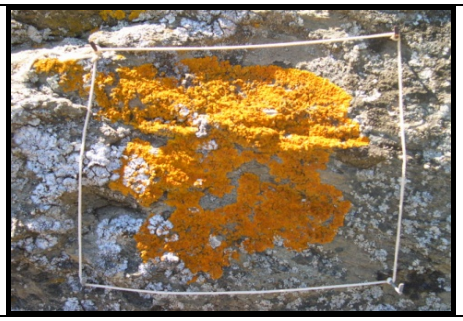
Se encuenta localizada a una distancia a la Central Térmica de 21 Km, situación desde Central (NNW-N), y una altitud de 935 m. En este caso, el estudio comparativo a lo largo de los años de estudio, se lleva a cabo entre los años 2005, 2007, 2008 solamente durante los períodos húmedos y en el 2010 durante período seco.

INVENTARIO 1A, REJILLA d-4	
AÑOS	**AÑOS**
	
Año 2005	**Año 2007**
Año 2008	**Año 2010**

Se observa que el talo crustáceo de la *Xanthoria,* ve alterada su vitalidad en periodos secos. Con respecto al recubrimiento, se destaca que el mismo no ha sufrido cambios significativos en la rejilla de referencia entre los años 2005 y 2010. La rejilla a estudio (**d-4**), posee un Índice de recubrimiento = 4; es decir, los líquenes recubren entre un 50% y un 75% de la superficie de la rejilla.

ESTACIÓN Nº 12: TEMISAS

Se encuentra localizada a una distancia a la Central Térmica de 17 Km, situación desde Central (NW-NNW), y una altitud de 825 m. El estudio comparativo a lo largo de los años de estudio, se lleva a cabo entre los años 2005, 2007, 2008 y 2010, únicamente durante períodos secos.

REJILLA DE CONTROL	
AÑOS	**AÑOS**
	
Año 2005	**Año 2007**
	
Año 2008	**Año 2010**

Se observa que el talo crustáceo de la *Xanthoria,* ve alterada su vitalidad en periodos secos. Con respecto al recubrimiento, se destaca que el mismo no ha sufrido cambios significativos en la rejilla de control, entre el año de inicio 2005 y los años 2007, 2008 y 2010.

En resúmen, el estudio comparativo de todas las rejillas de los inventarios de cada estación a estudio muestran que, en general, el recubrimiento no se ha visto alterado a lo largo de los años y en algunos casos ha aumentado como cabría esperar, mientras que para el caso de la vitalidad, ésta se ve alterada entre periodos húmedos y secos, lo que origina pérdida de coloración. Hay que considerar que existen varias zonas bien diferenciadas:

a) Zona correspondiente a las estaciones: **E7** y **E10** (Cruz Grande y Pico de las Nieves, respectivamente), que se caracterizan por su mayor altitud y un mayor grado de humedad. Este último aspecto se pone de manifiesto en periodos húmedos, en los que los briofitos (musgos) se desarrollan a lo largo de toda la superficie de los inventarios a estudio y cubren a los líquenes saxícolas.

b) Zona correspondiente a las estaciones: **E2** (Montaña Carboneras), **E3** (Santa Lucía), **E6** (Ingenio-Pasadilla), **E11** (Ingenio-Cazadores) y **E12** (Temisas); en las que si bien la altitud es menor que en las zonas anteriores, presentan índices de humedad óptimos para el desarrollo de líquenes.

c) Zona correspondiente a las estaciones **E1** (Pico Tabaibas), **E4** (Montaña Arinaga), **E5** (Montaña Agüimes), **E8** (Gitagana) y **E9** (Aldea Blanca), las cuales tienen influencia más directa de las zonas de autopistas, el aeropuerto y núcleos poblacionales.

Por lo tanto, apenas existen diferencias en cuanto a cobertura (recubrimiento) entre periodos húmedos y secos entre los años 2005 y 2010, como revela el estudio fotografico de las distintas estaciones con sus respectivos inventarios y cuadriculas a estudio, con un indice de esfuerzo total por estaciones de 48 cuadriculas, haciendo un total de 480 cuadriculas por muestreo.

Para el caso de liquenes crustáceos (talos aplicados al sustrato que no presentan córtex inferior, que pueden estar incluso totalmente inmerso en el sustrato), las diferencias resultan prácticamente inapreciables para el caso de cobertura (recubrimiento) entre los periodos a estudio.

En cuanto a los liquens foliaceos (talos que pueden separarse fácilmente del sustrato, que generalmente presentan rizinas y estan sujetos al sustrato en varios puntos), como es el caso de la especie *Xanthoria parietina*; a veces, si se observan cambios en el recubrimiento, entre los periodos húmedos y secos, asi como durante el transcurso de los años a estuido. Los casos en los que se observa pérdida de biomasa del talo liquenico, se corresponde con los periodos secos. Esto puede deberse a la propia forma de reproducción del liquen, que tiende a dispersarse mediante la emision de porciones del propio talo.

Con respecto a la vitalidad, se observa que ésta es mayor en época de más humedad, como ha puesto de manifiesto la diferencia entre años y periodos en las cuadriculas y talos mostrados en el estudio; éste fenomeno es más visible en los talos fructiculosos y foliáceos.

6.2. Medidas de Humedad Relativa.

Con base a los Valores Históricos de % Humedad Relativa Normales publicados durante el período 1971-2000, "Guía resumida del clima en España", medidos en el Aeropuerto de Gran Canaria, Gando, por la AEMET, presenta el siguiente patrón promedio durante los doce meses del año, como el promedio anual de dicho periodo:

Periodo	Humedad Relativa (%)
Enero	68
Febrero	67
Marzo	65
Abril	66
Mayo	67
Junio	68
Julio	67
Agosto	68
Septiembre	70
Octubre	71
Noviembre	69
Diciembre	69
Anual	68

Tabla 8. Valores Históricos de Porcentaje de Humedad Relativa

A continuación se muestran los datos correspondientes al Porcentaje de Humedad Relativa de el último año de muestreo 2013; así como, su comportamiento durante los 12 meses del año. Además, el promedio del periodo comprendido entre 1970 y 2000. Los meses de **Julio, Agosto y Septiembre** del 20013 fueron los meses **más húmedos** y por lo tanto, los que más favorecen la vitalidad de los líquenes y no existen grandes diferencias de Porcentaje de Humedad Relativa con respecto al promedio 1971-2000 cómo se puede apreciar en la siguiente figura.

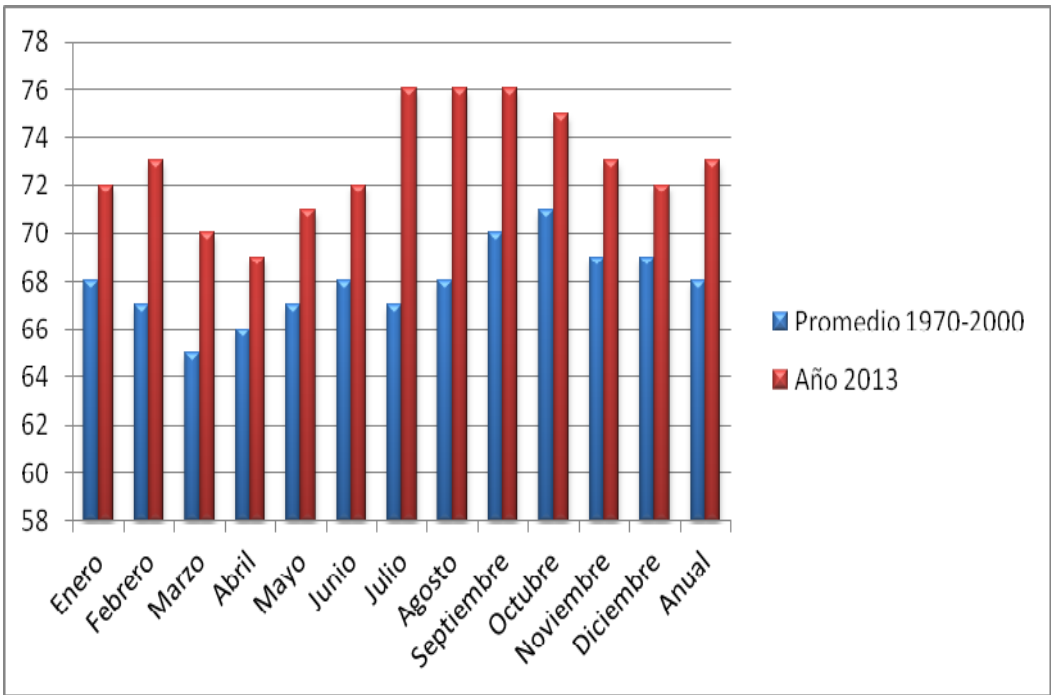


Figura 16 . Porcenaje de Humedad Relativa (promedio 1971-2000 y año 2013)

6.3. Rosa de los vientos:

Año	T (ºC)	TM (ºC)	Tm (ºC)	PP (mm)	V (Km/h)
2004	20,9	24,4	18,3	134,65	25,1
2005	20,5	23,4	17,5	209,00	21,08
2006	21.0,	24,1	17,8	291,85	24,7
2007	21,0	24,0	17,7	139,45	26,1
2008	21,2	24,1	17,9	81,08	27,8
2010	21,8	25,3	19,0	175,52	25,5
2013	22,0	26,0	19,0	311,00	30,0

Tabla 9 . Datos Metereológicos Históricos

Datos reportados por la estación meteorológica: **600300 (GCLP)**
Latitud: **27.93** | Longitud: **-15.38** | Altitud: **23 Gando**

T	Temperatura media anual (°C)
TM (ºC)	Temperatura máxima media anual (°C)
Tm (ºC)	Temperatura mínima media anual (°C)
PP (mm)	Precipitación total anual de lluvia y/o nieve derretida (mm)
V (Km/h)	Velocidad media anual del viento (Km/h)

En cuanto a la rosa de los vientos, se han analizado tanto la frecuencia de los vientos, como la de las calmas, **durante los dos últimos años, considerando doce meses del año 2010 y los doce meses del año 2013, considerando además la influencia de diez años de medidas de la Estación Meteorológica de Gando**. Esto nos ayuda a conocer, fundamentalmente, la dirección de los contaminantes procedentes de la Central Térmica de Barranco de Tirajana. Se debe recalcar que, **predominan los vientos de dirección NNE, con calmas atendiendo a los diferentes meses del año.** A continuación, se muestra el diagrama de rosa de vientos de media de los doce meses del año 2010 y los doce meses del año 2013:

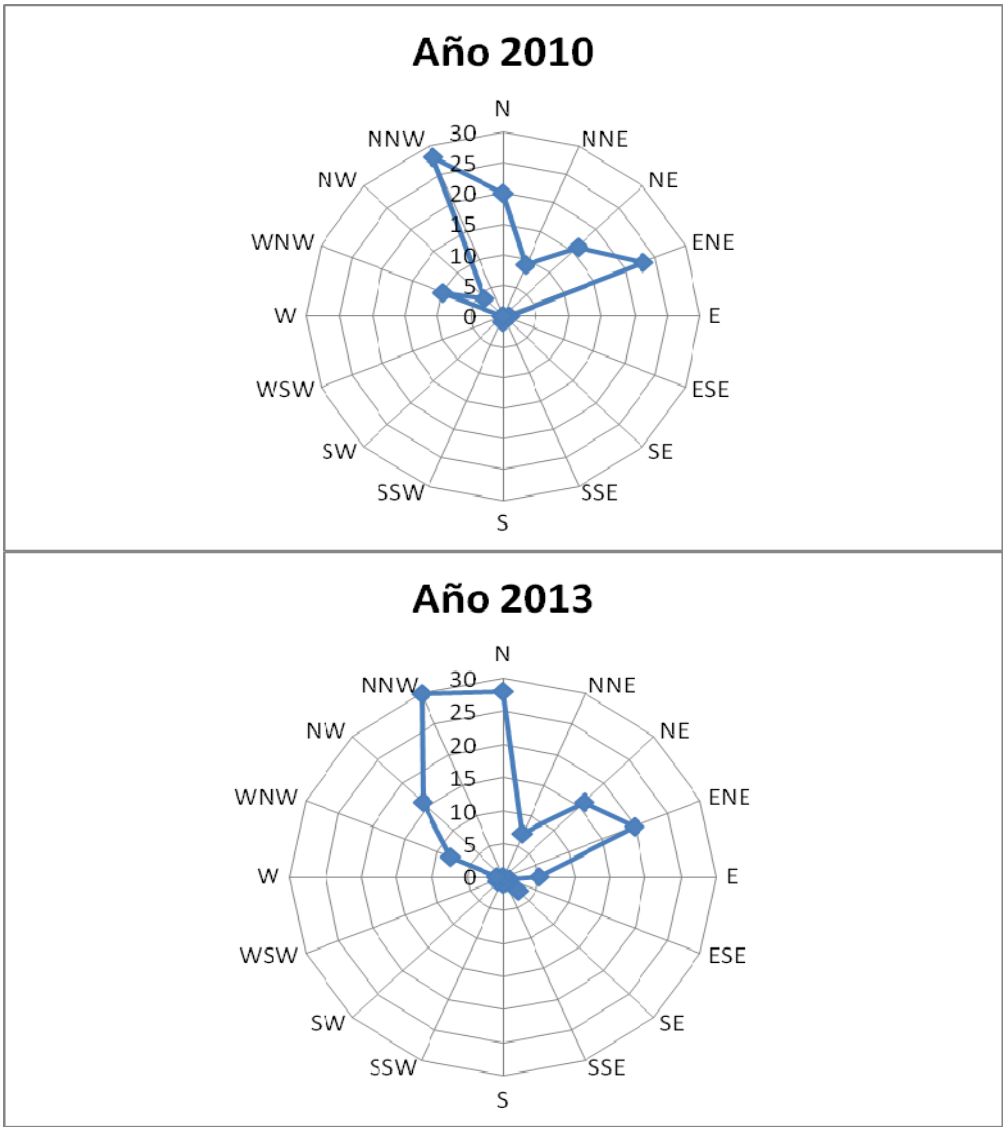


Figura 17. Rosa de los Vientos Años 2010 y 2013.

6.4. Resultados del Estudio Químico.

Para el estudio químico, se ha llevado a cabo la recolección de líquenes cada una de las estaciones a estudio. Los parámetros analizados son los siguientes: Azufre, Nitrógeno, Metales Pesados: Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre Níquel, Vanadio y Plomo; así como su contenido en Clorofila y Feofitina (pigmento que proviene de la degradación de la clorofila, por influencias de la contaminación). Así mismo, se analizaron los HAP´s, PCB´s , Pesticidas Organoclorados y Pesticidas Organofosforados.

Con el fin de comparar los datos de bioacumulación obtenidos para el caso de bioacumulación de azufre, se han utilizado los registros de las cabinas de inmisión dispuestas en el entorno de la Central Térmica de Barranco de Tirajana. A continuación, se muestran las ubicaciones de las distintas cabinas mencionadas con respecto a las estaciones de seguimiento de los bioindicadores liquénicos.

Figura 18. Localización de las estaciones de la Red de Inmisión.

En las estaciones automáticas se miden SO_2, NO_x, y partículas en suspensión, y en las estaciones metereológicas se miden velocidad y dirección del viento. Sólo se muestran las estaciones que se reflejan en el mapa anterior y que han servido sus datos para las estaciones de bioindicadores liquénicos.

Estación C1: ARINAGA

Situación desde la Central	NNE
Coordenadas Geográficas	27º 52´05´´ - 15º 23´17´´ W
Altitud	12 m
Distancia al Foco	8 Km

Estación C2: CASTILLO DEL ROMERAL

Situación desde la Central	WSW
Coordenadas Geográficas	27º 47´50´´ N - 15º 27´30´´ W
Altitud	5 m
Distancia al Foco	3 Km

Estación C3: SAN AGUSTÍN

Situación desde la Central	WSW
Coordenadas Geográficas	27º 46´25´´ N - 15º 32´22´´ W
Altitud	15 m
Distancia al Foco	11,5 Km

Estación C5: AGÜIMES

Situación desde la Central	NNW
Coordenadas Geográficas	27º 54´20´´ N - 15º 26´43´´ W
Altitud	286 m
Distancia al Foco	11 Km

Estación C6: SARDINA

Situación desde la Central	NW
Coordenadas Geográficas	27º 51´12´´ N - 15º 27´20´´ W
Altitud	180 m
Distancia al Foco	6 Km

Estación C7: PLAYA DEL INGLÉS

Situación desde la Central	WSW
Coordenadas Geográficas	27º 45´40´´ N - 15º 34´08´´ W
Altitud	40 m
Distancia al Foco	14,5 Km

Estación C9: LAS GLORIAS (la estación es manual).

Estación C10: EL TABLERO (la estación es manual).

6.4.1 Azufre.

6.4.1.1. Distribución de los valores medios de concentración.

En la siguiente tabla se detallan los datos obtenidos durante los periodos anuales de 2005, 2006, 2007, 2008, 2010 y 2013. En cada estación se representan las medias de los valores de concentración obtenidos durante cada uno de los seis años estudiados; así como el valor promedio total del período de los seis años, correspondiente para cada una de las estaciones expresadas en unidades de mg/kg (ppm).

Estación	Localización	Altitud	Valores medios de Azufre (mg/kg)						
		(m)	2005	2006	2007	2008	2010	2013	Promedio
E9	Aldea Blanca	**160**	2.210	2.212	2.211	2.215	2.230	2.235	**2.219**
E1	Pico Tabaibas	**519**	2.850	2.857	2861	2.871	2.882	2.885	**2.868**
E4	Ma. Arinaga	**199**	3.180	3.182	3.185	3.178	3.191	3.195	**3.185**
E2	Ma. Carboneras	**512**	4.320	4.322	4.337	4.342	4.341	4.348	**4.335**
E5	Ma. Agüimes	**352**	4.310	4.311	4.325	4.325	4.336	4.338	**4.324**
E3	Santa Lucía	**843**	4.320	4.321	4.329	4.338	4.361	4.371	**4.340**
E6	Ingenio-Pasadilla	**634**	2.510	2.513	2.515	2.586	2.601	2.611	**2.556**
E8	Gitagana	**350**	3.270	3.274	3.280	3.260	3.285	3.292	**3.277**
E12	Temisas	**850**	2.567	3.185	3.192	3.194	3.193	3.211	**3.090**
E7	Cruz Grande	**1.240**	670	679	681	686	682	683.0	**680**
E11	Ingenio- Cazadores	**900**	2.937	3.097	3.101	3.071	3.105	3.115	**3.071**
E10	Pico de las Nieves	**1.700**	1.150	1.153	1.155	1.156	1.160	1.171	**1.157**

Tabla 10. Concentración de Azufre.

En la Figura 19, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestreo) de todos los años a estudio. En ella se representa en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a su distancia a la Central Térmica** (la estación E9 es la más cercana y la E10 es la más alejada); y en el eje de ordenadas la concentración media de azufre expresada en unidades de mg/kg.

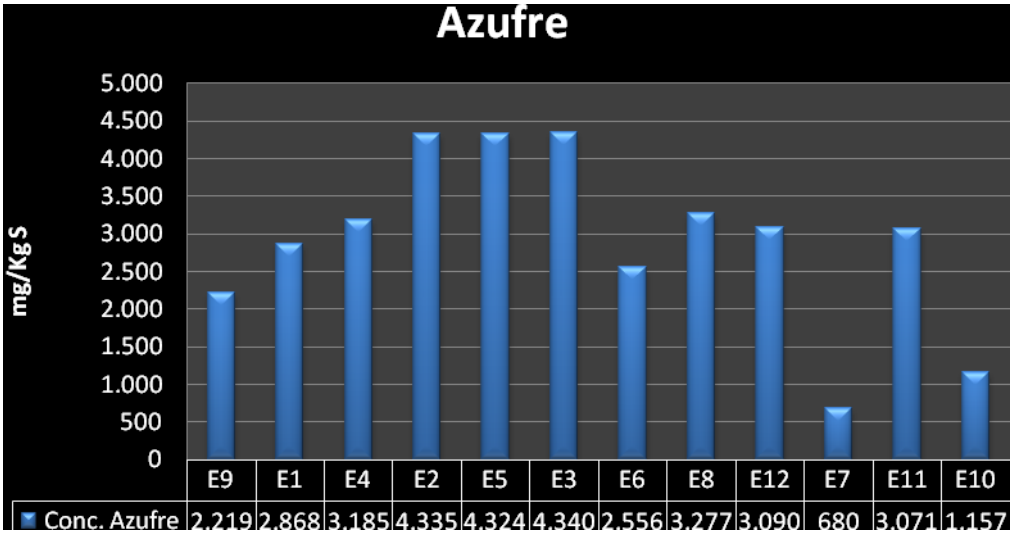


Figura 19 . Concentración Promedio Azufre en relación con la Distancia a la Central

En la representación gráfica se aprecia la existencia de valores más o menos diferentes en cada una de las estaciones, con una clara tendencia de crecimiento en las seis primeras estaciones (las más cercanas a la Central Térmica), que empezando con un valor de concentración de 2.219 mg/kg, en la estación **E9** situada a 5,5 Km de la Central Térmica, llega a un valor de concentación máximo de 4.340 mg/kg, en la estación **E3** situada a 8,8 Km de la Central Térmica.

En la Figura 20, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestreo) de todos los años a estudio. En ella se representa en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a la altura a la que están localizadas** (la estación E9 es la más baja y la E10 es la más alta), y en el eje de ordenadas la concentración media de azufre expresada en unidades de mg/kg.

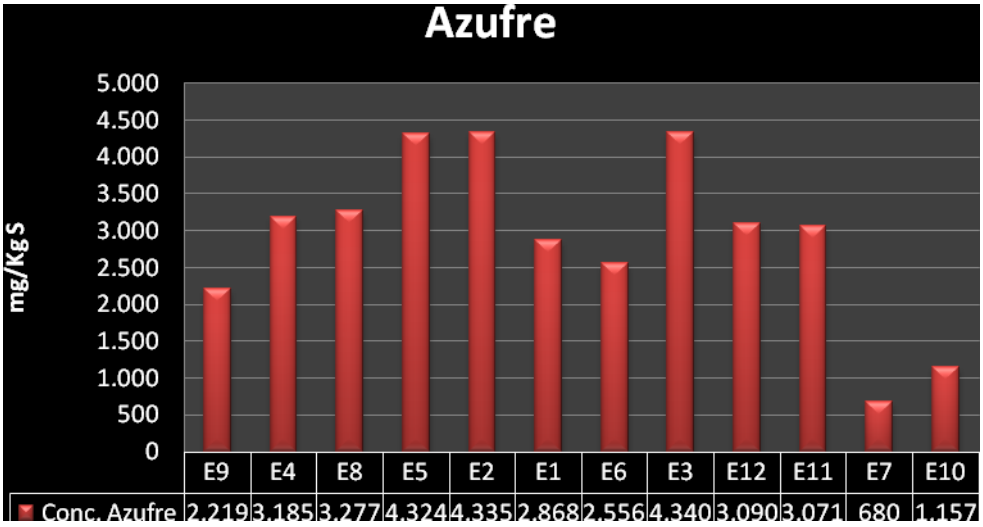


Figura 20 . Concentración Promedio Azufre en relación con la Altura de la Estación

Se aprecia la variabilidad de los valores promedio de concentración, teniendo los máximos en las estaciones **E5**, **E2** y **E3**, con 352, 512 y 843 m de altura y concentraciones de 4.324, 4.335 y 4.340 mg/kg respectivamente y, parece disminiur a partir de la estacion **E12**, localizada a 850 m de altura, con una concentración de 3.090 mg/kg.

6.4.1.2. Comparación de los valores medios de concentración.

Al objeto de evaluar estadísticamente si, las diferencias apreciadas, se pueden considerar significativas y por lo tanto, poder afirmar la posible influencia de la localización, se ha aplicado el método del análisis de la varianza (ANOVA) al conjunto de todos lo valores muestrales obtenidos, dando como resultado la siguiente tabla:

ANOVA de un factor

mg/kg S

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	89937412,111	11	8176128,374	1326,747	,000
Intra-grupos	369752,333	60	6162,539		
Total	90307164,444	71			

Tabla 11. ANOVA (Azufre).

Se pone de manifiesto que a un Nivel de significación = 0,000 existen diferencias entre los valores medios de concentración en todos los años a estudio, en al menos, algunas de las estaciones y por lo tanto, se rechaza la igualdad de medias.

Para determinar y agrupar aquellas localizaciones o estaciones que, dan lugar a niveles de concentración significativamente diferentes, se ha recurrido a los tests estadísticos de comparación múltiple, que proporciona el "Método de Tukey HSD", adoptando coeficientes de confianza del 95%. Esto se realizó con base al factor distancia a la Central Térmica (Km) y con base a la altitud a la que se encuentran las estaciones. Los resultados de su aplicación se resumen en la siguientes tablas:

mg/kg S

Tukey B

Kilómetros	N	Subconjunto para alfa = 0.05							
		1	2	3	4	5	6	7	8
21,01	E7	680,17							
23,30	E10		1157,50						
5,50	E9			2218,83					
14,80	E6				2556,00				
8,20	E1					2867,67			
21,00	E11						3071,00		
17,00	E12						3090,33		
8,60	E4						3185,17	3185,17	
15,30	E8							3276,83	
10,90	E5								4324,17
8,80	E2								4335,00
14,00	E3								4340,00

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

Tabla 12 . Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas. (Factor Distancia-S)

mg/kg S

Tukey B

Metros	N	Subconjunto para alfa = 0.05							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1240	E7	680,17							
1700	E10		1157,50						
160	E9			2218,83					
634	E6				2556,00				
519	E1					2867,67			
900	E11						3071,00		
850	E12						3090,33		
199	E4						3185,17	3185,17	
350	E8							3276,83	
352	E5								4324,17
512	E2								4335,00
843	E3								4340,00

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

Tabla 13. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas. (Factor Altura-S)

Se puede apreciar la existencia de ocho grupos significativamente diferentes, con la existencia de tres grupos homogéneos:.

1. El grupo formado por las estaciones **E11, E12, E4,** situadas a 21,0, 17,0, 8,6 Km respectivamente de la Central Térmica, presentan unos valores medios de acumulación de azufre en la biomasa que va de 3.071 a 3.185 mg/kg.

2. El grupo formado por la estación **E4** y la estación **E8**, situadas a 8,6 y 15,3 Km respectivamente de la Central Térmica, con valores medios de concentración que van de 3.185 a 3.276 mg/kg de Azufre.

3. El grupo formado por las estaciones **E5, E2**, y **E3** las dos primeras contiguas y situadas a 10,9, 8,80 y 14,0,Km respectivamente de la Central Térmica, presentan unos valores medios de acumulación de azufre en la biomasa de alrededor de 4.300 mg/kg, poniendo de manifiesto unos valores medios de concentración de azufre muy superiores al resto de las estaciones, tanto con la relación a las tres estaciones más cercanas a la Central (**E9, E1 y E4**), cómo a las cinco más alejadas (**E3, E6, E8, E7 y E10**).

A la vista de tales resultados, se puede apreciar que la evolución del contenido medio de azufre en la biomasa liquénica, sigue una cierta distribución de sus niveles medios en función de la distancia a la Central Térmica, caracterizada por empezar por unos valores máximos a distancias comprendidas entre los 9 y los 14 Km, y presentar un descenso hasta niveles muy bajos alrededor de los 21 Km, aunque hay un repunte en esa misma distancia, para luego caer de nuevo en la estación más alejada.

Por otra parte, y como elemento de referencia, también se han indicado los valores obtenidos de las cabinas de control de la Central Térmica que, de forma automática, analizan las inmisiones en la zona. En este caso, y como es habitual, los valores correspondiente al SO_2 están expresados en $\mu g/m^3N$. Sin embargo, al objeto de comparar los resultados obtenidos en los análisis químicos de los líquenes y las redes de inmisión, el valor de SO_2, se presenta como contenido de Azufre.

Distancia a Central (Km)	Estación	Localización	Altitud (m)	Valores medios de Azufre (µg/m3N)					Promedio
				2003	2006	2008	2010	2013	
3,00	C2	Castillo Romeral	5	4,710	2,480	2,300	2,700	2,800	2,998
6,00	C6	Sardina	180	3,370	1,440	1,550	2,100	1,900	2,072
8,00	C1	Arinaga	12	3,500	2,500	2,800	2,700	2,750	2,850
11,00	C5	Agüimes	286	3,720	2,190	2,400	3,100	1,200	2,522
11,50	C3	San Agustín	15	4,110	1,860	2,600	2,600	2,100	2,654
14,50	C7	Playa del Inglés	40	3,900	3,850	2,800	3,200	2,700	3,290
18,00	C4	Maspalomas	2			2,650	2,800	2,550	2,670
		No se dispone de resultados							

Tabla 14. Valores medios de Azufre en Cabinas de Inmisión.

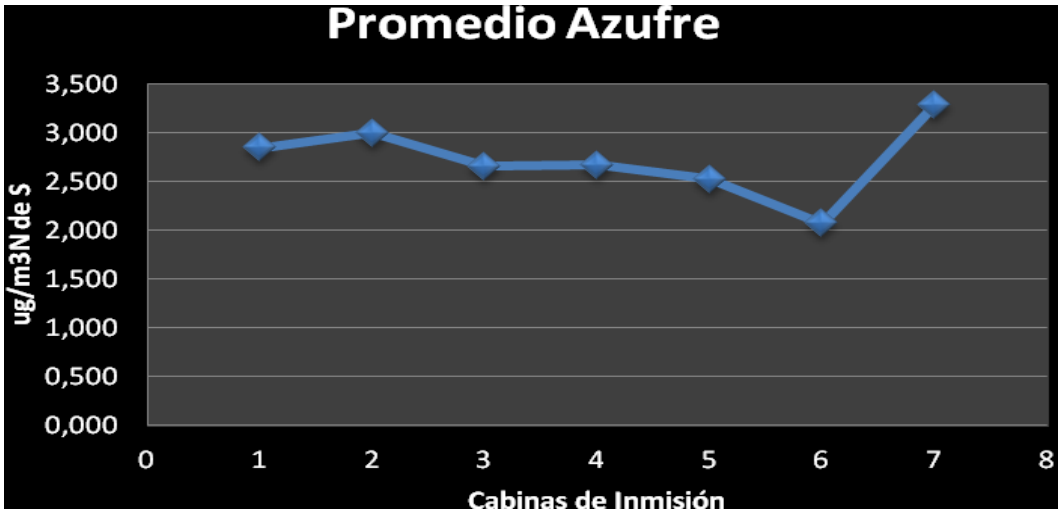


Figura 21. Promedio de Valores Medios de Azufre en Cabinas de Inmisión 2003-2013.

En la Figura 22, se muestra la distribución espacial del contenido medio de azufre obtenido durante el periodo 2005-2013, **atendiendo a la orografía del terreno y curvas de nivel**. Se observa un gradiente mayor cerca de la línea de costa y una disminución de este gradiente a medida que nos acercamos a altitudes de cumbre.

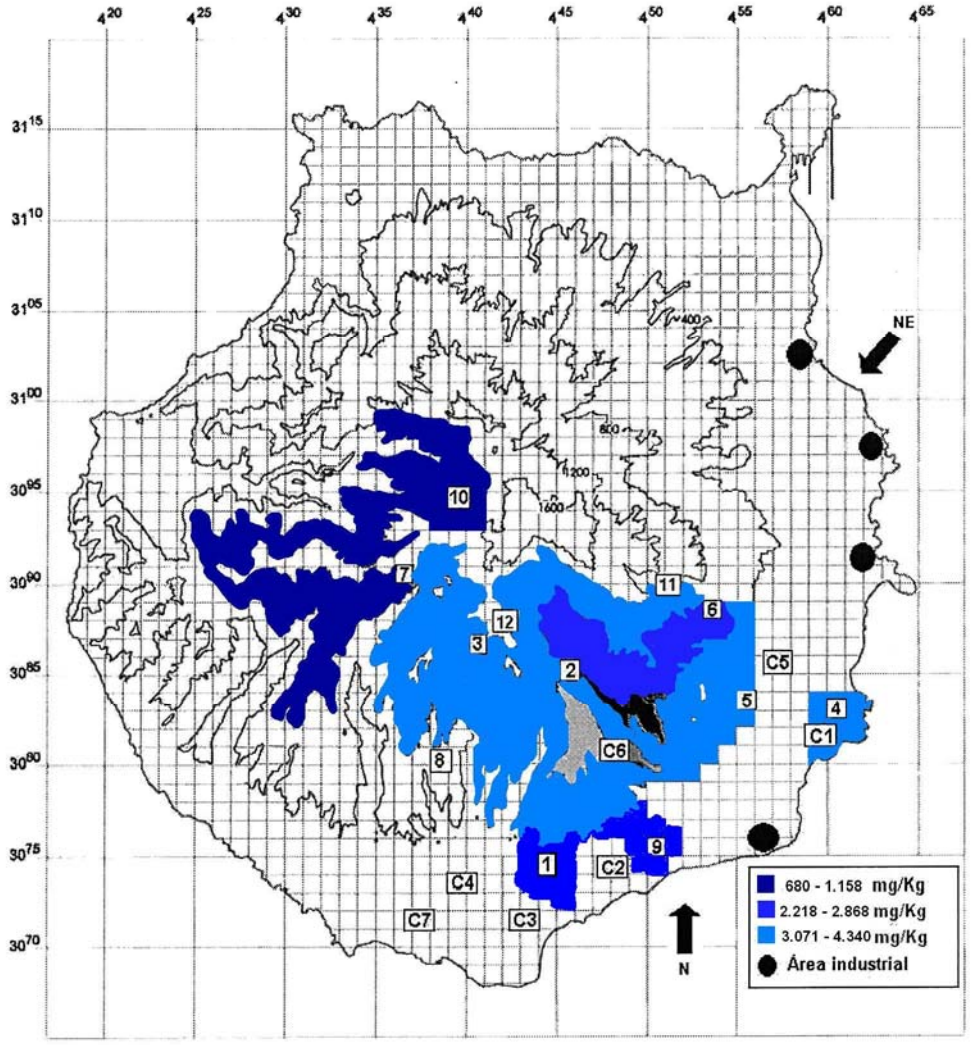


Figura 22. Mapa de Distribución de Azufre.

6.4.2. Nitrógeno.

6.4.2.1. Distribución de los valores medios de concentración.

En la siguiente tabla se detallan los datos obtenidos durante los periodos anuales de 2005, 2006, 2007, 2008, 2010 y 2013. En cada estación se representan las medias de los valores de concentración obtenidos durante cada uno de los seis años estudiados; así como el valor promedio total del período de los seis años, correspondiente para cada una de las estaciones expresadas en unidades de Porcentaje en peso (% peso).

Estación	Localización	Altitud	Valores medios de Nítrógeno (% peso)						
		(m)	2005	2006	2007	2008	2010	2013	Promedio
E9	Aldea Blanca	**160**	1,216	1,212	1,213	1,216	1,215	1,192	**1,211**
E1	Pico Tabaibas	**519**	1,592	1,585	1,587	1,650	1,601	1,495	**1,585**
E4	Ma. Arinaga	**199**	1,302	1,300	1,302	1,304	1,305	1,322	**1,306**
E2	Ma. Carboneras	**512**	2,710	2,699	2,701	2,700	2,703	2,862	**2,729**
E5	Ma. Agüimes	**352**	1,840	1,812	1,814	1,815	1,821	1,921	**1,837**
E3	Santa Lucía	**843**	2,239	2,215	2,216	2,214	2,211	2,282	**1,230**
E6	Ingenio-Pasadilla	**634**	1,810	1,797	1,798	1,789	1,786	1,863	**1,807**
E8	Gitagana	**350**	2,855	2,705	2,703	2,704	2,781	2,821	**2,762**
E12	Temisas	**850**	2,201	2,210	2,211	2,214	2,235	2,234	**2,218**
E7	Cruz Grande	**1.240**	1,754	1,745	1,746	1,742	1,736	1,704	**1,738**
E11	Ingenio- Cazadores	**900**	1,639	1,620	1,621	1,620	1,641	1,652	**1,632**
E10	Pico de las Nieves	**1.700**	0,851	0,850	0,852	0,846	0,852	0,862	**0,852**

Tabla 15. Concentración de Nitrógeno.

En la Figura 23, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestro) de todos los años a estudio. En ella se representa: en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a su distancia a la Central Térmica** (la estación E9 es la más cercana y la E10 es la más alejada) y en el eje de ordenadas la concentración media de nitrógeno expresada en unidades de % en Peso.

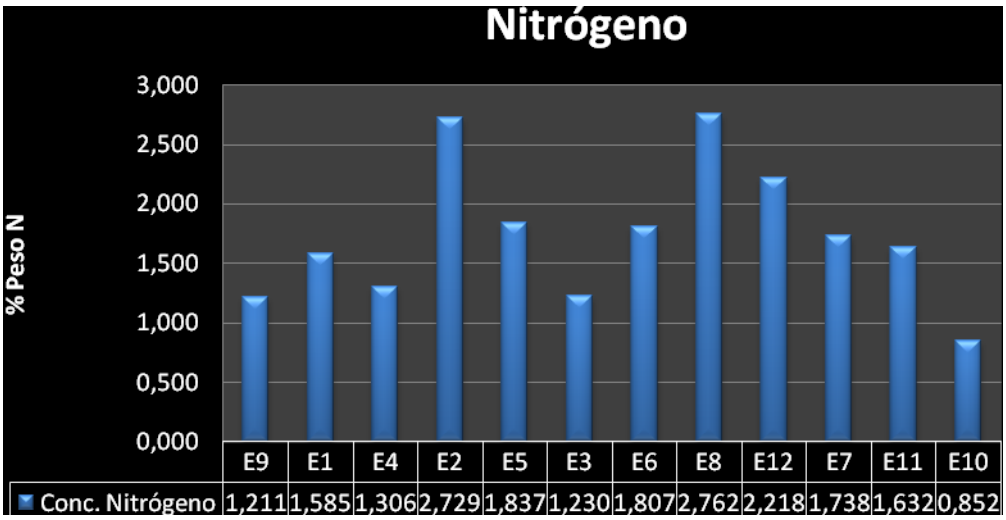


Figura 23. Concentración Promedio Nitrógeno en relación con la Distancia a la Central

En la representación gráfica se aprecia la existencia de valores más o menos diferentes en cada una de las estaciones, con una clara tendencia de crecimiento a partir de la estación **E2**, con un valor medio de 2,729 % peso, llegando a un valor máximo de 2,762 % peso, que corresponde al valor de la estación **E8**.

En la Figura 24, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestreo) de todos los años a estudio. En ella se representa en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a la altura a la que están localizadas** (la estación E9 es la más baja y la E10 es la más alta), y en el eje de ordenadas la concentración media de Nitrógeno expresada en unidades de % en peso.

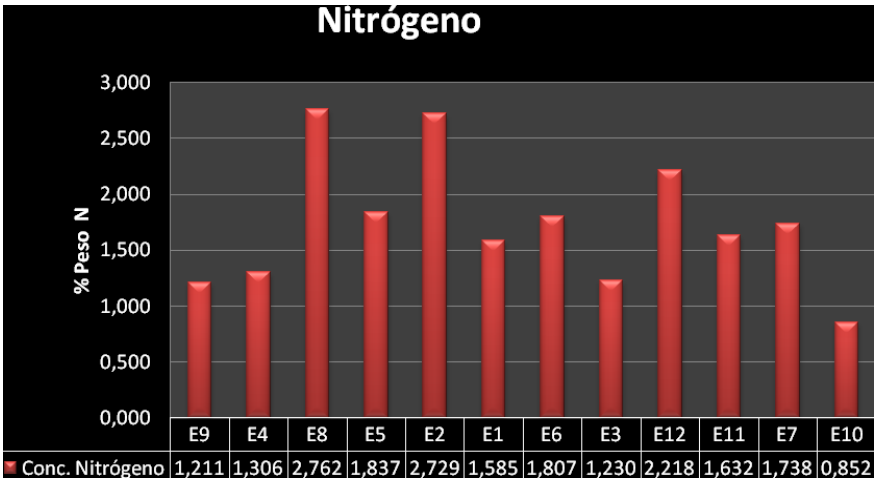


Figura 24 . Concentración Promedio Nitrógeno en relación con la Altura de la Estación

De nuevo, se aprecian valores diferentes, con un valor de concentración promedio máxima de 2,762 % peso para la estación **E8**, que se encuentra a una altura de 350 m y disminuyendo claramente a partir de la estación **E1**, localizada a una altura de 519 m llegando al valor mínimo de concentración promedio de 0,852 % en peso en la estación **E10**, localizada a 1.700 m de altura.

6.4.2.2. Comparación de los valores medios de concentración.

Con objeto de evaluar estadísticamente sí, las diferencia apreciadas, se pueden considerar como significativas y por lo tanto, poder afirmar la posible influencia de la localización en la concentración bioacumulada en los líquenes, se ha aplicado el método de "Análisis de Varianza" (ANOVA) al conjunto de todos los valores muestrales obtenidos, dando como resultado la siguiente tabla:

ANOVA de un factor

% Peso N

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	22,250	11	2,023	1562,275	,000
Intra-grupos	,078	60	,001		
Total	22,328	71			

Tabla 16. ANOVA (Nitrógeno).

Se pone de manifiesto que a un Nivel de significación = 0,000 existen diferencias entre los valores medios de concentración en todos los años a estudio, en al menos, algunas de las estaciones.

Para determinar y agrupar aquellas localizaciones o estaciones que, dan lugar a niveles de concentración significativamente diferentes, se ha recurrido a los tests estadísticos de comparación múltiple, que proporciona el "Método Tukey HSD", adoptando coeficientes de confianza del 95%. Las conclusiones de su aplicación se resumen en la siguiente tabla.

% Peso N

HSD de Tukey

% Peso N

Tukey B

Kilómetros	Estación	Subconjunto para alfa = 0.05							
		1	2	3	4	5	6	7	8
23,30	E10	,85217							
5,50	E9		1,21067						
8,60	E4			1,30583					
8,20	E1				1,58500				
21,00	E11				1,63217				
21,01	E7					1,73783			
14,80	E6						1,80717		
10,90	E5						1,83717		
17,00	E12							2,21750	
14,00	E3							2,22950	
8,80	E2								2,72917
15,30	E8								2,76150

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

Tabla 17. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Distancia-N)

Tukey B

Metros	Estación	Subconjunto para alfa = 0.05							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1700	E10	,85217							
160	E9		1,21067						
199	E4			1,30583					
519	E1				1,58500				
900	E11				1,63217				
1240	E7					1,73783			
634	E6						1,80717		
352	E5						1,83717		
850	E12							2,21750	
843	E3							2,22950	
512	E2								2,72917
350	E8								2,76150

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

Tabla 18. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Altura-N)

En la Tabla anterior se puede apreciar la existencia de 8 grupos significativamente diferentes, existiendo cuatro grupos homogéneos:

1. Integrado por las estaciones **E1** y **E11**, a 8,20 y 21,00 Km de la Central Térmica respectivamente, con una concentración promedio de alrededor de 1,60 % peso de Nitrógeno.
2. Integrado por las estaciones **E6** y **E5**, a 14,80 y 10,90 Km de la Central Térmica respectivamente, con una concentración promedio de alrededor de 1,80 % peso de Nitrógeno.
3. Integrado por las estaciones **E12** y **E3**, a 17,00 Km y 14,00 Km de la Central Térmica respectivamente, con una concentración promedio de alrededor de 2,20 % peso de Nitrógeno.

4. Y por último, el integrado por las estaciones **E2** y **E8**, a 8,80 y 15,30 Km de la Central Térmica respectivamente, con una concentración promedio de alrededor de 2,70 % peso de Nitrógeno.

En la Figura 25, se muestra la distribución espacial del contenido medio de Nitrógeno bioacumulado durante el período 2005-2013, **atendiendo a la orografía del terreno y curvas de nivel**. Se observa un gradiente mayor en frente nordeste del área de las estaciones a estudio.

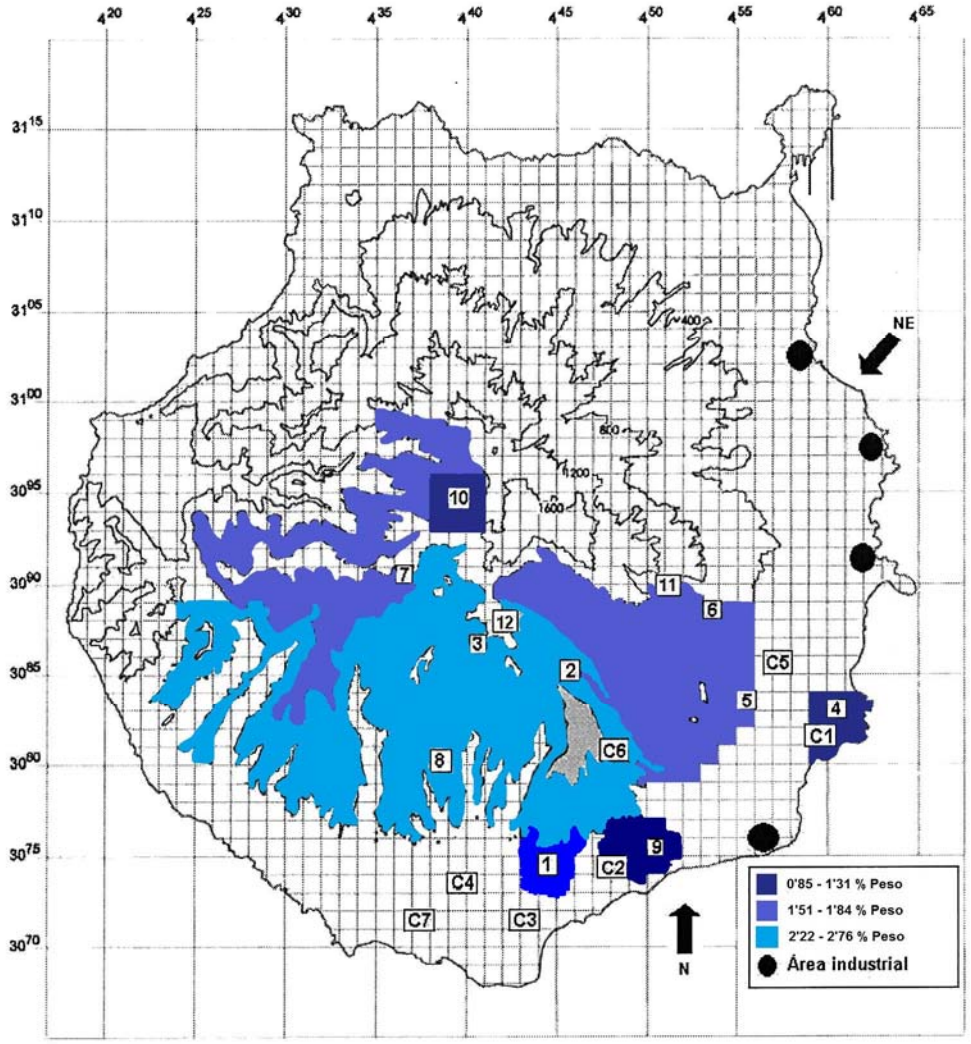


Figura 25. Mapa de Distribución de Nitrógeno.

6.4.3. Clorofila.

6.4.3.1. Distribución de los valores medios de concentración.

En la siguiente tabla se detallan los datos obtenidos durante los periodos anuales de 2005, 2006, 2007, 2008, 2010 y 2013. En cada estación se representan las medias de los valores de concentración obtenidos durante cada uno de los seis años estudiados; así como el valor promedio total del período de los seis años, correspondiente para cada una de las estaciones expresadas en unidades de mg/kg (ppm).

Estación	Localización	Altitud (m)	Valores medios de Clorofila (mg/kg)						
			2005	2006	2007	2008	2010	2013	Promedio
E9	Aldea Blanca	**160**	590	598	599			546	**583**
E1	Pico Tabaibas	**519**	800	801	802	815	843	828	**815**
E4	Ma. Arinaga	**199**	610	613	615	632	651	630	**625**
E2	Ma. Carboneras	**512**	590	625	627		636	615	**618**
E5	Ma. Agüimes	**352**	630	632	633	648	652	628	**637**
E3	Santa Lucía	**843**	640	642	642		661	645	**646**
E6	Ingenio-Pasadilla	**634**	640	641	642		658	656	**647**
E8	Gitagana	**350**	540	543	544			520	**537**
E12	Temisas	**850**	640	643	644	653	670	655	**651**
E7	Cruz Grande	**1.240**	490	492	493		517	510	**500**
E11	Ingenio- Cazadores	**900**	605	642	642	656	673	660	**646**
E10	Pico de las Nieves	**1.700**	490	496	497	508	519	525	**506**
	No se dispone de resultados								

Tabla 19. Concentración de Clorofila.

En la Figura 26, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestro) de todos los años a estudio. En ella se representa: en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a su distancia a la Central Térmica** (la estación E9 es la más cercana y la E10 es la más alejada) y en el eje de ordenadas la concentración media de clorofila expresada en unidades de mg/kg.

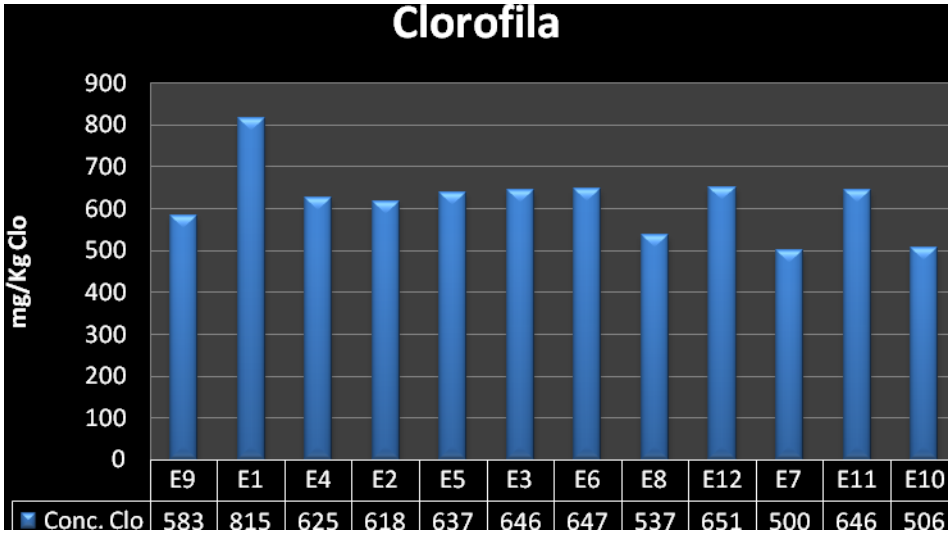


Figura 26. Concentración Promedio Clorofila en relación con la Distancia a la Central

En la representación gráfica se aprecia la existencia de valores más o menos similares en cada una de las estaciones, con una clara tendencia a un valor medio de 618 mg/kg, teniendo un valor máximo la Estación 1 (**E1**), con un valor de 815 mg/kg.

En la Figura 27, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestreo) de todos los años a estudio. En ella se representa en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a la altura a la que están localizadas** (la estación E9 es la más baja y la E10 es la más alta), y en el eje de ordenadas la concentración media de clorofila expresada en unidades de mg/kg.

De nuevo, se aprecia que las concentraciones promedio de Clorofila, son más o menos similares, alcanzando su valor máximo de 815 mg/kg en la estación **E1**, localizada a 519 m de altura y como mínimo 500 mg/kg en la estación **E7**, localizada a 1.240 m.

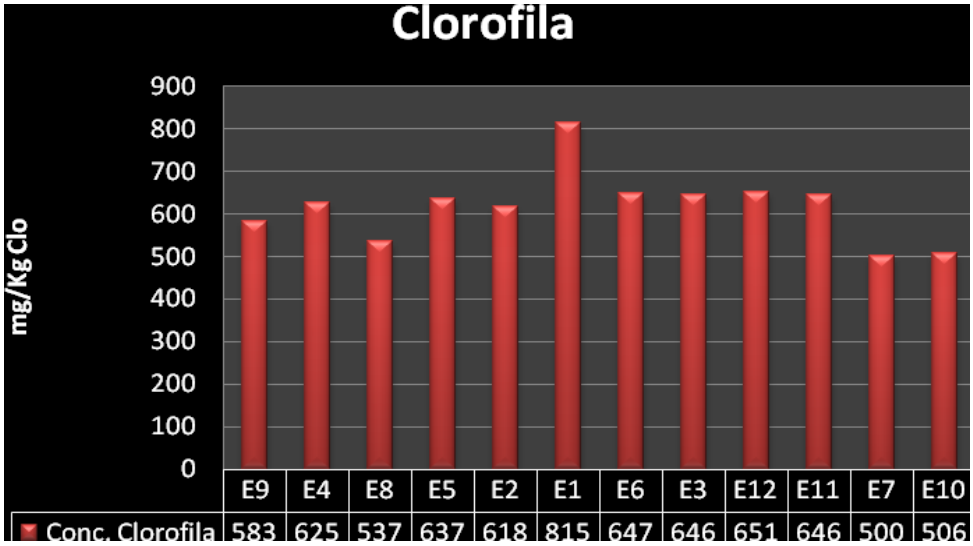


Figura 27. Concentración Promedio de Clorofila en relación con la Altura de la Estación

6.4.3.2. Comparación de los valores medios de concentración.

Con objeto de evaluar estadísticamente sí, las diferencias apreciadas, se pueden considerar como significativas y por lo tanto, poder afirmar la posible influencia de la localización en la concentración de clorofila en los líquenes, se ha aplicado el método de "Análisis de Varianza" (ANOVA) al conjunto de todos los valores muestrales obtenidos, dando como resultado la siguiente tabla:

ANOVA de un factor

mg/kg Clo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	427055,070	11	38823,188	158,834	,000
Intra-grupos	12221,317	50	244,426		
Total	439276,387	61			

Tabla 20. ANOVA (Clorofila)

Se pone de manifiesto que a un Nivel de significación = 0,000 existen diferencias entre los valores medios de concentración en todos los años a estudio, en al menos, algunas de las estaciones.

Para determinar y agrupar aquellas localizaciones o estaciones que, dan lugar a niveles de concentración significativamente diferentes, se ha recurrido a los tests estadísticos de comparación múltiple, que proporciona el "Método Tukey HSD", adoptando coeficientes de confianza del 95%. Las conclusiones de su aplicación se resumen en la siguiente tabla.

mg/kg Clorofila

HSD de Tukey

mg/kg Clo

Tukey B

Kilómetros	Estación	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
21,01	E7	500,40				
23,30	E10	505,83				
15,30	E8		536,75			
5,50	E9			583,25		
8,80	E2				618,60	
8,60	E4				625,17	
10,90	E5				637,17	
14,80	E6				645,25	
14,00	E3				646,00	
21,00	E11				646,33	
17,00	E12				650,00	
8,20	E1					814,83

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,035.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 21. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas. (Factor Distancia- Clo)

mg/kg Clo

Tukey B

Metros	Estaciòn	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
1240	E7	500,40				
1700	E10	505,83				
350	E8		536,75			
160	E9			583,25		
512	E2				618,60	
199	E4				625,17	
352	E5				637,17	
634	E6				645,25	
843	E3				646,00	
900	E11				646,33	
850	E12				650,00	
519	E1					814,83

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,035.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 22. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas. (Factor Altura-Clo)

En la tabla anterior se puede apreciar la existencia de 5 grupos significativamente diferentes, existiendo dos grupos homogéneos:

1. Integrado por las estaciones **E7** y **E10** a 21,0 y 23,3 Km de la Central respectivamente, con una concentración promedio de Clorofila de alrededor de 500,00 mg/kg.

2. Integrado por las estaciones **E9**, **E2**, **E4**, **E5, E11, E6** y **E12** a 5,5, 8,8 y 8,6, 10,9, 21,0, 14,8, y 17 Km de la Central respectivamente, con una concentración promedio de Clorofila de alrededor de 600,0 mg/kg.

En la Figura 28, se muestra la distribución espacial del contenido medio de Clorofila bioacumulado durante el período 2005-2013, **atendiendo a la orografía del terreno y curvas de nivel**. Se observa un gradiente mayor en frente nordeste del área de las estaciones a estudio.

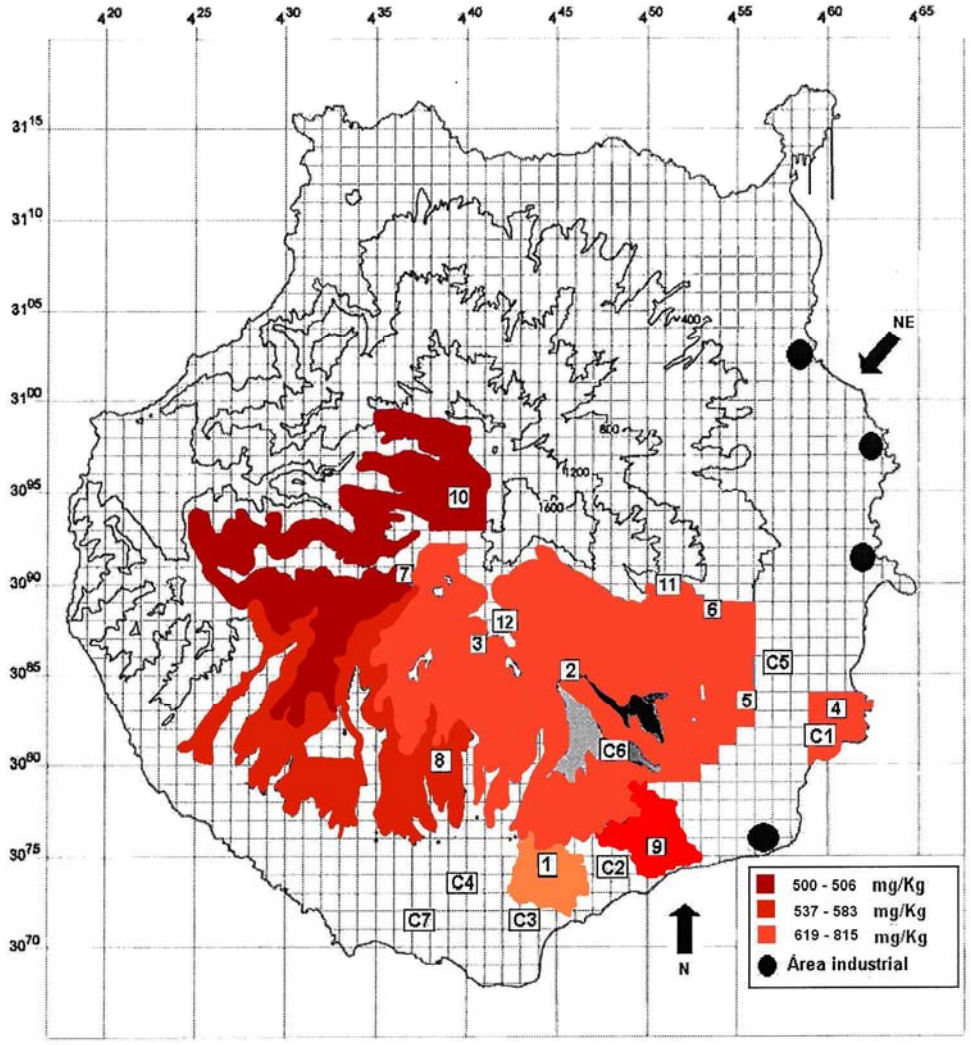


Figura 28. Mapa de Distribución de Clorofila

6.4.4. Feofitina.

6.4.4.1. Distribución de los valores medios de concentración.

En la siguiente tabla se detallan los datos obtenidos durante los periodos anuales de 2005, 2006, 2007, 2008, 2010 y 2013. En cada estación se representan las medias de los valores de concentración obtenidos durante cada uno de los seis años estudiados; así como el valor promedio total del período de los cinco años, correspondiente para cada una de las estaciones expresadas en unidades de mg/kg o ppm.

Estación	Localización	Altitud	Valores medios de Feofitina (mg/kg)						
		(m)	2005	2006	2007	2008	2010	2013	Promedio
E9	Aldea Blanca	**160**	27,0	28,0	28,1			27,6	**27,7**
E1	Pico Tabaibas	**519**	20,0	21,0	21,2	19,8	18,6	21,2	**20,3**
E4	Ma. Arinaga	**199**	50,0	51,0	51,0	48,4	39,6	36,8	**46,1**
E2	Ma. Carboneras	**512**	17,0	19,0	19,4		16,4	16,7	**17,7**
E5	Ma. Agüimes	**352**	20,0	21,0	21,1	19,4	18,6	19,8	**19,9**
E3	Santa Lucía	**843**	70,0	72,0	72,5		58,7	65,3	**67,7**
E6	Ingenio-Pasadilla	**634**	47,0	48,0	48,7		35,5	44,6	**55,9**
E8	Gitagana	**350**	50,0	53,0	53,0			50,4	**51,6**
E12	Temisas	**850**	70,5	73,0	73,1	66,5	59,9	65,8	**68,1**
E7	Cruz Grande	**1.240**	80,0	82,0	82,2		65,9	36,6	**69,3**
E11	Ingenio- Cazadores	**900**	21,2	22,0	22,6	20,5	18,4	23,2	**21,3**
E10	Pico de las Nieves	**1.700**	17,0	18,0	18,1	17,0	15,3	18,3	**17,3**
	No se dispone de resultados								

Tabla 23. Concentración de Feofitina

En la Figura 29, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestro) de todos los años a estudio. En ella se representa: en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a su distancia a la Central Térmica** (la estación E9 es la más cercana y la E10 es la más alejada) y en el eje de ordenadas la concentración media de feofitina expresada en unidades de mg/kg.

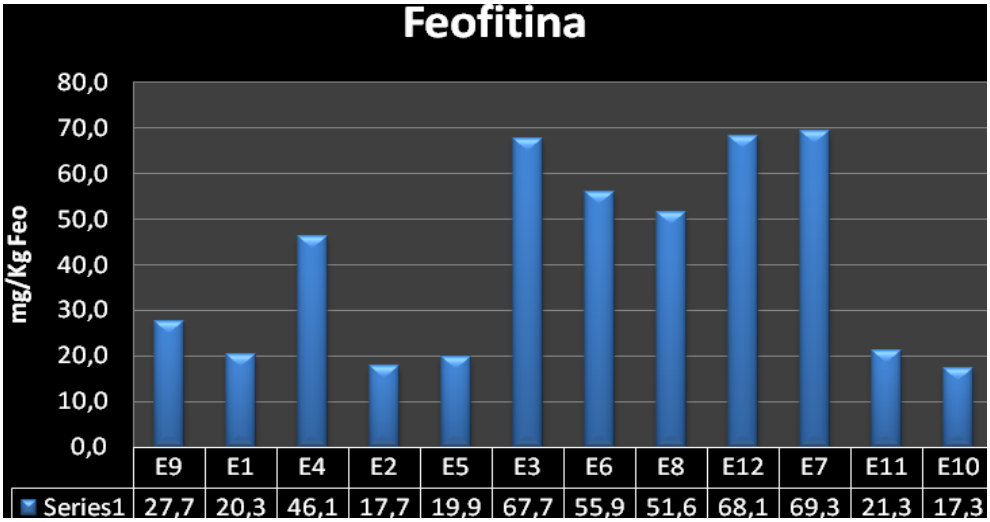


Figura 29. Concentración Promedio Feofitina en relación con la Distancia a la Central

En la representación gráfica se aprecia la existencia de valores más o menos diferentes en cada una de las estaciones, con un valor máximo de 69,3 mg /Kg en la estación **E7** y un valor mínimo de 17,3 mg/kg en la estación **E10**.

En la Figura 30, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestreo) de todos los años a estudio. En ella se representa en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a la altura a la que están localizadas** (la estación E9 es la más baja y la E10 es la más alta), y en el eje de ordenadas la concentración media de feofitina expresada en unidades de mg/kg.

De nuevo, se aprecian valores más o menos diferentes de concentración promedio de Feofitina, con un valor mínimo en la estación **E2** (17,2 mg/kg) localizada a 512 m de altura y alcanzando su valor máximo en la estación **E7** (69,3 mg/kg) localizada a una altura de 1.240 m

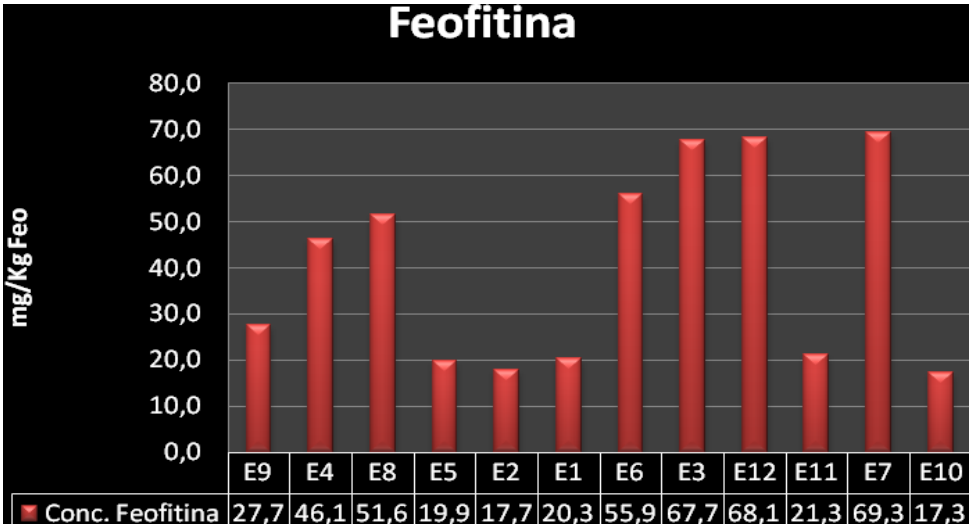


Figura 30. Concentración Promedio de Feofitina en relación con la Altura de la Estación

6.4.4.2. Comparación de los valores medios de concentración.

Con objeto de evaluar estadísticamente sí, las diferencias apreciadas, se pueden considerar como significativas y por lo tanto, poder afirmar la posible influencia de la localización en la concentración de feofitina en los líquenes, se ha aplicado el método de "Análisis de Varianza" (ANOVA) al conjunto de todos los valores muestrales obtenidos, dando como resultado la siguiente tabla:

ANOVA de un factor

mg/kg Feo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	26667,157	11	2424,287	58,688	,000
Intra-grupos	2148,023	52	41,308		
Total	28815,180	63			

Tabla 24. ANOVA (Feofitina)

Se pone de manifiesto que a un Nivel de significación = 0,000 existen diferencias entre los valores medios de concentración en todos los años a estudio, en al menos, algunas de las estaciones.

Para determinar y agrupar aquellas localizaciones o estaciones que, dan lugar a niveles de concentración significativamente diferentes, se ha recurrido a los tests estadísticos de comparación múltiple, que proporciona el "Método Tukey HSD", adoptando coeficientes de confianza del 95%. Las conclusiones de su aplicación se resumen en la siguiente tabla.

mg/kg Feofitina

HSD de Tukey

mg/kg Feo

Tukey B

Kilómetros	Estacióm	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
23,30	E10	17,283		
8,80	E2	17,700		
10,90	E5	19,983		
8,20	E1	20,300		
21,00	E11	21,317		
5,50	E9	27,675		
14,80	E6		44,760	
8,60	E4		46,133	
15,30	E8		51,600	
14,00	E3			67,700
17,00	E12			68,133
21,01	E7			69,340

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,217.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 25. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Distancia-Feo)

mg/kg Feo

Tukey B

Metros	Estacióm	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
1700	E10	17,283		
512	E2	17,700		
352	E5	19,983		
519	E1	20,300		
900	E11	21,317		
160	E9	27,675		
634	E6		44,760	
199	E4		46,133	
350	E8		51,600	
843	E3			67,700
850	E12			68,133
1240	E7			69,340

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,217.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 26. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Altura-Feo)

En las tablas anteriores se puede apreciar la existencia de tres grupos significativamente diferentes existiendo también, la existencia de tres grupos homogéneos:

1. Integrado por las estaciones **E10**, **E2**, **E5, E1, E11** y **E9** ubicadas a 23,3, 8,8, 10,9, 8,2, 21,0 y 5,5 Km de la Central respectivamente, con valores medios de concentración que van de 17,3 a 27,7 mg/kg de Feofitna.

2. Integrado por las estaciones **E6, E4** y **E8,** ubicadas a 14,8, 8,6, 15,3 Km de la Central respectivamente, con valores medios de concentración que van de 44,8 a 51, 6 mg/kg de Feofitna.

3. Integrado por las estaciones **E3, E12** y **E7,** ubicadas a 14,0, 17,0 y 21,0 Km de la Central respectivamente, valores medios de concentración que van de 67,7 a 69,3 mg/kg de Feofitna.

En la Figura 31, se muestra la distribución espacial del contenido medio de Feofitina bioacumulado durante el período 2005-2013, **atendiendo a la orografía del terreno y curvas de nivel**. Se observa un gradiente mayor en las estaciones localizadas hacia el centro del área de muestreo.

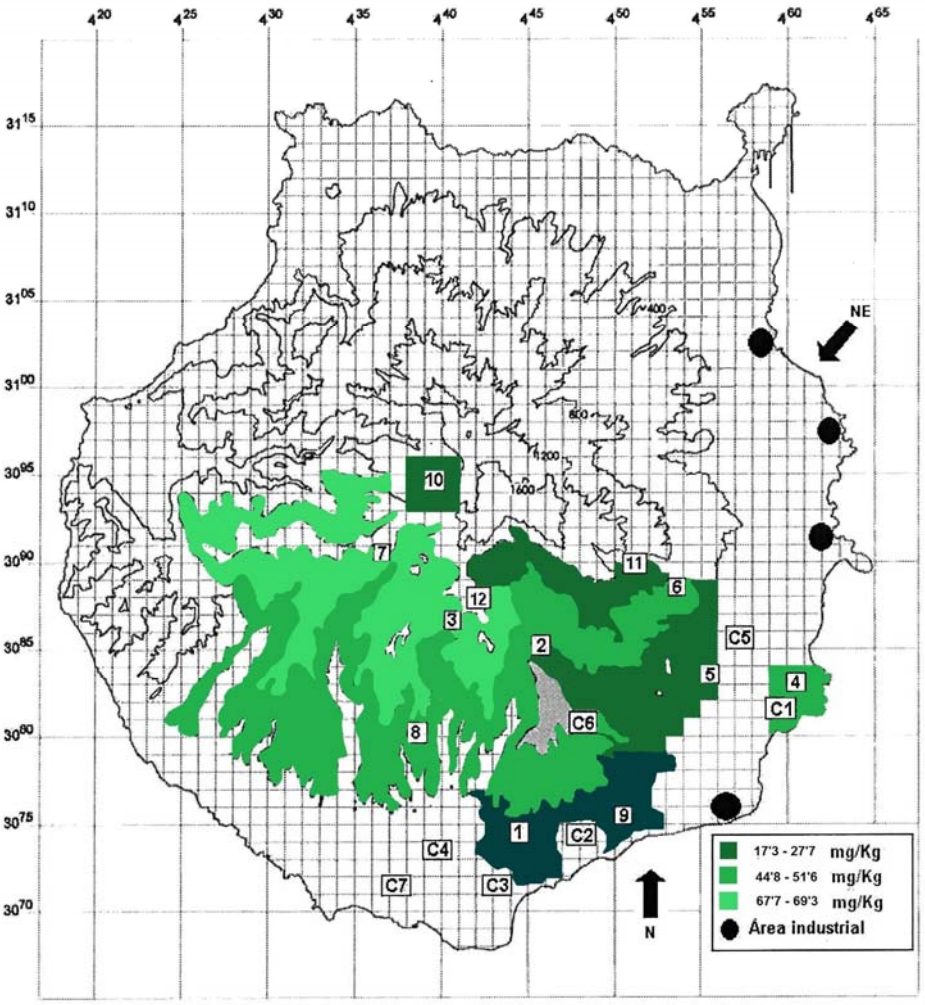


Figura 31. Mapa de Distribución de Feofitina

6.4.5. Arsénico.

6.4.5.1. Distribución de los valores medios de concentración.

En la siguiente tabla se detallan los datos obtenidos durante los periodos anuales de 2005, 2006, 2007, 2008, 2010 y 2013. En cada estación se representan las medias de los valores de concentración obtenidos durante cada uno de los seis años estudiados; así como el valor promedio total del período de seis años, correspondiente para cada una de las estaciones expresadas en unidades de mg/kg (ppm).

Estación	Localización	Altitud	Valores medios de Arsénico (mg/kg)						
		(m)	2005	2006	2007	2008	2010	2013	Promedio
E9	Aldea Blanca	**160**	5,098	4,762	4,196			4,321	**4,594**
E1	Pico Tabaibas	**519**	3,715	1,257	0,014	0,647	7,957	0,834	**2,404**
E4	Ma. Arinaga	**199**	3,961	5,835	1,651	4,729	4,745	2,641	**3,927**
E2	Ma. Carboneras	**512**	6,829	5,950	0,013		7,669	3,842	**4,861**
E5	Ma. Agüimes	**352**	0,575	0,003	0,013	1,775	4,757	2,313	**1,573**
E3	Santa Lucía	**843**	1,164	3,835	0,013		5,556	2,483	**2,610**
E6	Ingenio-Pasadilla	**634**	0,025	0,003	0,013		4,209	2,831	**1,416**
E8	Gitagana	**350**	0,982	0,367	0,013			0,836	**0,550**
E12	Temisas	**850**	0,025	1,752	0,013	1,650	4,709	0,752	**1,484**
E7	Cruz Grande	**1.240**	2,357	1,063	0,013		1,351	2,317	**1,420**
E11	Ingenio- Cazadores	**900**	7,341	0,003	0,013	1,339	8,786	4,863	**3,724**
E10	Pico de las Nieves	**1.700**	2,563	0,003	0,013	1,031	1,842	1,836	**1,215**
	No se dispone de resultados								

Tabla 27. Concentración de Arsénico

En la Figura, 32 se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestro) de todos los años a estudio. En ella se representa: en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a su distancia a la Central Térmica** (la estación E9 es la más cercana y la E10 es la más alejada) y en el eje de ordenadas la concentración media de Arsénico expresada en unidades de mg/kg.

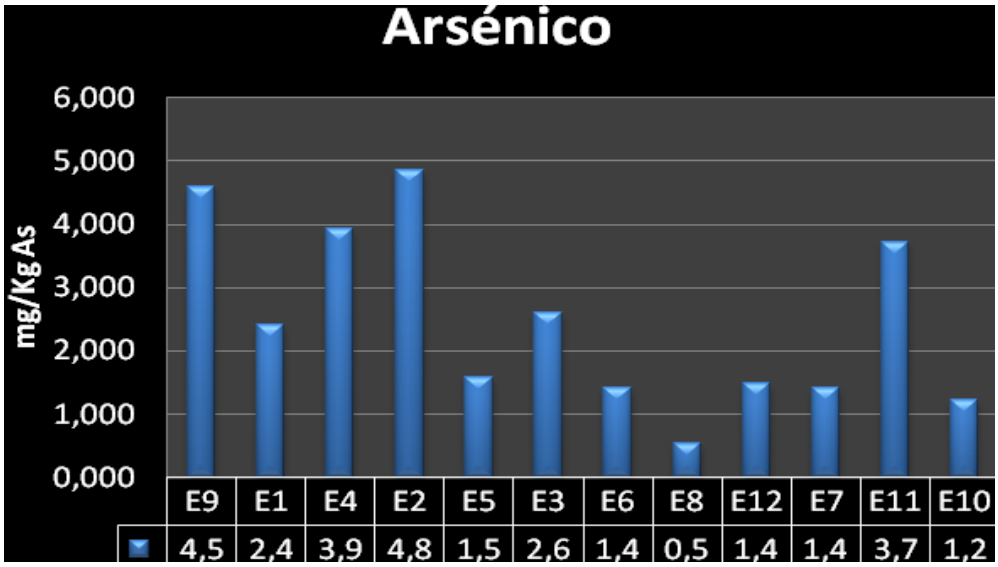


Figura 32. Concentración Promedio Arsénico en relación con la Distancia a la Central

En la representación gráfica se aprecia la existencia de valores más o menos diferentes en cada una de las estaciones, con un valor máximo de 4,86 mg/kg en la estación **E2** y un valor mínimo de 0,55 mg/kg en la estación **E8**.

En la Figura 33, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestreo) de todos los años a estudio. En ella se representa en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a la altura a la que están localizadas** (la estación E9 es la más baja y la E10 es la más alta), y en el eje de ordenadas la concentración media de Arsénico expresada en unidades de mg/kg.

Con respecto a este criterio, se observa un valor máximo de concentración promedio de Arsénico (4,86 mg/kg) en la estación **E2**, localizada a 512 m de altura; disminuyendo a partir de esa altura y teniendo como valor mínimo de concentración la encontrada en la estación **E8**, (0,55 mg/kg) localizada a 350 m de altura

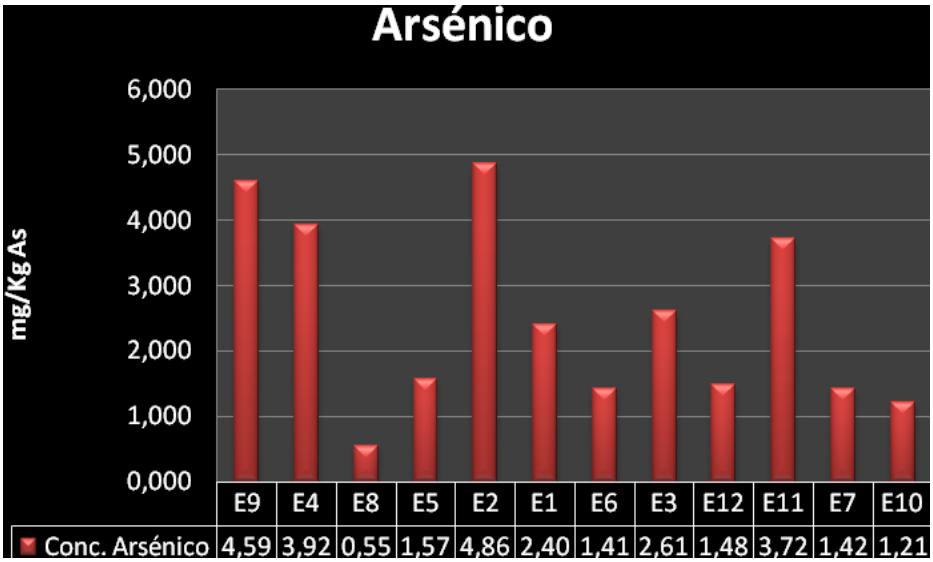


Figura 33. Concentración Promedio Arsénico en relación a la Altura de la Estación

6.4.5.2. Comparación de los valores medios de concentración.

Con objeto de evaluar estadísticamente sí, las diferencias apreciadas, se pueden considerar como significativas y por lo tanto, poder afirmar la posible influencia de la localización en la concentración de feofitina en los líquenes, se ha aplicado el método de "Análisis de Varianza" (ANOVA) al conjunto de todos los valores muestrales obtenidos, dando como resultado la siguiente tabla:

ANOVA de un factor

mg/kg de As

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	114,864	11	10,442	2,218	,027
Intra-grupos	244,836	52	4,708		
Total	359,700	63			

Tabla 28. ANOVA (Arsénico)

Se pone de manifiesto que a un Nivel de significación 0,027; el cual es menor que 0,05, existen diferencias entre los valores medios de concentración en todos los años a estudio, en al menos, algunas de las estaciones.

Para determinar y agrupar aquellas localizaciones o estaciones que, dan lugar a niveles de concentración significativamente diferentes, se ha recurrido a los tests estadísticos de comparación múltiple, que proporciona el "Método Tukey HSD", adoptando coeficientes de confianza del 95%. Las conclusiones de su aplicación se resumen en la siguiente tabla.

mg/kg de As

Tukey B

Kilómetros	Estación	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
15,30	E8	,54950
23,30	E10	1,21467
14,80	E6	1,41620
21,01	E7	1,42014
17,00	E12	1,48350
10,90	E5	1,57262
8,20	E1	2,40400
14,00	E3	2,61028
21,00	E11	3,72413
8,60	E4	3,92700
5,50	E9	4,59425
8,80	E2	4,86052

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,217.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 29. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Distancia-As)

mg/kg de As

Tukey B

Metros	Estación	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
350	E8	,54950
1700	E10	1,21467
634	E6	1,41620
1240	E7	1,42014
850	E12	1,48350
352	E5	1,57262
519	E1	2,40400
843	E3	2,61028
900	E11	3,72413
199	E4	3,92700
160	E9	4,59425
512	E2	4,86052

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,217.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 30. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Altura-As)

De los resultados mostrados en las Tablas 29 y 30, se puede observar que el análisis estadístico de Tukey no muestra que existen grupos homogéneoas en concordancia con el resultado de Significación que aporta el ANOVA. Sin embargo, para estar seguros de la interpretación de estos resultados, se contrasta la Hipótesis de Igualdad de Varianzas mediante la prueba de Levene. Ya que el estadístico *F* del ANOVA de un factor, se basa en el cumplimiento dedos supuestos fundamentales: *normalidad* y *homocedasticidad*. *Normalidad* significa que la variable dependiente se distribuye

normalmente en las *J* poblaciones muestreadas (tantas como grupos definidos por la variable independiente o factor). No obstante, si los tamaños de los grupos son grandes, el estadístico *F* se comporta razonablemente bien incluso con distribuciones poblacionales sensiblemente alejadas de la normalidad. *Homocedasticidad* o igualdad de varianzas significa que las *J* poblaciones muestreadas poseen la misma varianza. Con grupos de distinto tamaño, el incumplimiento de este supuesto debe ser cuidadosamente vigilado. El resultado de la aplicación de esta prueba al conjunto de datos de concentración promedio de Arsénico, se muestran en la siguiente tabla:

Prueba de homogeneidad de varianzas

mg/kg de As

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
3,637	11	52	,001

Tabla 31. Prueba de Levene (Arsénico)

Junto con el valor del estadístico de Levene (3,637), aparecen también los grados de libertad de su distribución (gl1 = 11, gl2 = 52) y el nivel crítico o probabilidad de obtener valores como el obtenido o mayores (Significación = 0,001). Puesto que el valor crítico de Significación obtenido (0,001) es menor que 0,05, debemos rechazar la Hipótesis de Igualdad de varianzas. Por lo que, la aplicación de HSD de Tuckey no es recomendable en este caso, ya que asume igualdad de varianzas.

Por lo tanto, se aplicará en este caso un método similar al de de Tuckey, denominado Games – Howell, que se basa en la distribución del rango estudentizado y en un estadístico *T* en el que, tras estimar las varianzas poblacionales suponiendo que son distintas, se corrigen los grados de libertad mediante la ecuación de Welch. En términos generales, de los cuatro métodos que controla el SPSS asumiendo varianzas diferentes, el de Games – Howell es el que mejor controla la tasa de error en diferentes situaciones. Los resultados de su aplicación para el conjunto de los valores medios de concentración de Arsénico, se muestran en la siguiente Tabla.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: mg/kg de As

Games-Howell

(I) Kilómetros	(J) Kilómetros	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
5,50	8,20	2,190250	1,243947	,794	-4,09676	8,47726
	8,60	,667250	,660198	,990	-2,49563	3,83013
	8,80	-,266270	1,384612	1,000	-8,10485	7,57231
	10,90	3,021633	,772552	,123	-,74922	6,79249
	14,00	1,983970	,997208	,695	-3,53909	7,50703
	14,80	3,178050	,909988	,220	-1,81780	8,17390
	15,30	4,044750*	,303514	,000	2,58518	5,50432
	17,00	3,110750	,744228	,094	-,50714	6,72864
	21,00	,870117	1,576868	1,000	-7,17123	8,91146
	21,01	3,174110*	,482339	,013	,80039	5,54783
	23,30	3,379583*	,477194	,005	1,20607	5,55309
8,20	5,50	-2,190250	1,243947	,794	-8,47726	4,09676
	8,60	-1,523000	1,377463	,984	-7,66678	4,62078
	8,80	-2,456520	1,838122	,951	-10,33048	5,41744
	10,90	,831383	1,434705	1,000	-5,38124	7,04401
	14,00	-,206280	1,567152	1,000	-6,85841	6,44585
	14,80	,987800	1,513149	1,000	-5,48177	7,45737
	15,30	1,854500	1,246460	,897	-4,42458	8,13358
	17,00	,920500	1,419654	1,000	-5,26874	7,10974
	21,00	-1,320133	1,986971	1,000	-9,62222	6,98196
	21,01	,983860	1,301612	,999	-5,18251	7,15023
	23,30	1,189333	1,299714	,995	-4,97058	7,34924

	5,50	-,667250	,660198	,990	-3,83013	2,49563
	8,20	1,523000	1,377463	,984	-4,62078	7,66678
	8,80	-,933520	1,505706	1,000	-8,33107	6,46403
	10,90	2,354383	,973055	,468	-1,68568	6,39445
	14,00	1,316720	1,159492	,980	-3,94965	6,58309
8,60	14,80	2,510800	1,085393	,532	-2,31900	7,34060
	15,30	3,377500*	,664921	,037	,21850	6,53650
	17,00	2,443500	,950724	,397	-1,49317	6,38017
	21,00	,202867	1,684195	1,000	-7,62184	8,02757
	21,01	2,506860	,763315	,177	-,76953	5,78325
	23,30	2,712333	,760074	,121	-,51697	5,94164
	5,50	,266270	1,384612	1,000	-7,57231	8,10485
	8,20	2,456520	1,838122	,951	-5,41744	10,33048
	8,60	,933520	1,505706	1,000	-6,46403	8,33107
	10,90	3,287903	1,558245	,635	-4,06926	10,64506
	14,00	2,250240	1,680985	,946	-5,31602	9,81650
8,80	14,80	3,444320	1,630756	,633	-4,02437	10,91301
	15,30	4,311020	1,386871	,308	-3,51345	12,13549
	17,00	3,377020	1,544398	,600	-3,98442	10,73846
	21,00	1,136387	2,077932	1,000	-7,65545	9,92823
	21,01	3,440380	1,436642	,521	-4,14048	11,02124
	23,30	3,645853	1,434923	,465	-3,93435	11,22606
	5,50	-3,021633	,772552	,123	-6,79249	,74922
	8,20	-,831383	1,434705	1,000	-7,04401	5,38124
	8,60	-2,354383	,973055	,468	-6,39445	1,68568
	8,80	-3,287903	1,558245	,635	-10,64506	4,06926
	14,00	-1,037663	1,226947	,998	-6,41911	4,34378
10,90	14,80	,156417	1,157174	1,000	-4,84128	5,15411
	15,30	1,023117	,776592	,946	-2,74116	4,78739
	17,00	,089117	1,031916	1,000	-4,16872	4,34695
	21,00	-2,151517	1,731325	,965	-9,96945	5,66642
	21,01	,152477	,862337	1,000	-3,63227	3,93722
	23,30	,357950	,859470	1,000	-3,39478	4,11068
14,00	5,50	-1,983970	,997208	,695	-7,50703	3,53909
	8,20	,206280	1,567152	1,000	-6,44585	6,85841
	8,60	-1,316720	1,159492	,980	-6,58309	3,94965
	8,80	-2,250240	1,680985	,946	-9,81650	5,31602
	10,90	1,037663	1,226947	,998	-4,34378	6,41911
	14,80	1,194080	1,317816	,996	-4,57537	6,96353

	15,30	2,060780	1,000341	,664	-3,44598	7,56754
	17,00	1,126780	1,209313	,995	-4,21719	6,47075
	21,00	-1,113853	1,842572	1,000	-9,12753	6,89982
	21,01	1,190140	1,068275	,979	-4,10427	6,48455
	23,30	1,395613	1,065962	,946	-3,88605	6,67728
	5,50	-3,178050	,909988	,220	-8,17390	1,81780
	8,20	-,987800	1,513149	1,000	-7,45737	5,48177
	8,60	-2,510800	1,085393	,532	-7,34060	2,31900
	8,80	-3,444320	1,630756	,633	-10,91301	4,02437
	10,90	-,156417	1,157174	1,000	-5,15411	4,84128
14,80	14,00	-1,194080	1,317816	,996	-6,96353	4,57537
	15,30	,866700	,913420	,991	-4,11270	5,84610
	17,00	-,067300	1,138460	1,000	-5,01396	4,87936
	21,00	-2,307933	1,796866	,959	-10,23207	5,61620
	21,01	-,003940	,987353	1,000	-4,79752	4,78964
	23,30	,201533	,984850	1,000	-4,57387	4,97694
	5,50	-4,044750*	,303514	,000	-5,50432	-2,58518
	8,20	-1,854500	1,246460	,897	-8,13358	4,42458
	8,60	-3,377500*	,664921	,037	-6,53650	-,21850
	8,80	-4,311020	1,386871	,308	-12,13549	3,51345
	10,90	-1,023117	,776592	,946	-4,78739	2,74116
15,30	14,00	-2,060780	1,000341	,664	-7,56754	3,44598
	14,80	-,866700	,913420	,991	-5,84610	4,11270
	17,00	-,934000	,748421	,960	-4,54579	2,67779
	21,00	-3,174633	1,578851	,684	-11,20893	4,85966
	21,01	-,870640	,488784	,788	-3,24449	1,50321
	23,30	-,665167	,483707	,938	-2,84807	1,51773
	5,50	-3,110750	,744228	,094	-6,72864	,50714
	8,20	-,920500	1,419654	1,000	-7,10974	5,26874
	8,60	-2,443500	,950724	,397	-6,38017	1,49317
	8,80	-3,377020	1,544398	,600	-10,73846	3,98442
	10,90	-,089117	1,031916	1,000	-4,34695	4,16872
17,00	14,00	-1,126780	1,209313	,995	-6,47075	4,21719
	14,80	,067300	1,138460	1,000	-4,87936	5,01396
	15,30	,934000	,748421	,960	-2,67779	4,54579
	21,00	-2,240633	1,718873	,953	-10,05627	5,57500
	21,01	,063360	,837057	1,000	-3,58913	3,71585
	23,30	,268833	,834103	1,000	-3,34840	3,88607
21,00	5,50	-,870117	1,576868	1,000	-8,91146	7,17123

	8,20	1,320133	1,986971	1,000	-6,98196	9,62222
	8,60	-,202867	1,684195	1,000	-8,02757	7,62184
	8,80	-1,136387	2,077932	1,000	-9,92823	7,65545
	10,90	2,151517	1,731325	,965	-5,66642	9,96945
	14,00	1,113853	1,842572	1,000	-6,89982	9,12753
	14,80	2,307933	1,796866	,959	-5,61620	10,23207
	15,30	3,174633	1,578851	,684	-4,85966	11,20893
	17,00	2,240633	1,718873	,953	-5,57500	10,05627
	21,01	2,303993	1,622745	,920	-5,60823	10,21622
	23,30	2,509467	1,621223	,879	-5,40142	10,42035
	5,50	-3,174110*	,482339	,013	-5,54783	-,80039
	8,20	-,983860	1,301612	,999	-7,15023	5,18251
	8,60	-2,506860	,763315	,177	-5,78325	,76953
	8,80	-3,440380	1,436642	,521	-11,02124	4,14048
	10,90	-,152477	,862337	1,000	-3,93722	3,63227
21,01	14,00	-1,190140	1,068275	,979	-6,48455	4,10427
	14,80	,003940	,987353	1,000	-4,78964	4,79752
	15,30	,870640	,488784	,788	-1,50321	3,24449
	17,00	-,063360	,837057	1,000	-3,71585	3,58913
	21,00	-2,303993	1,622745	,920	-10,21622	5,60823
	23,30	,205473	,611966	1,000	-2,39378	2,80473
	5,50	-3,379583*	,477194	,005	-5,55309	-1,20607
	8,20	-1,189333	1,299714	,995	-7,34924	4,97058
	8,60	-2,712333	,760074	,121	-5,94164	,51697
	8,80	-3,645853	1,434923	,465	-11,22606	3,93435
	10,90	-,357950	,859470	1,000	-4,11068	3,39478
23,30	14,00	-1,395613	1,065962	,946	-6,67728	3,88605
	14,80	-,201533	,984850	1,000	-4,97694	4,57387
	15,30	,665167	,483707	,938	-1,51773	2,84807
	17,00	-,268833	,834103	1,000	-3,88607	3,34840
	21,00	-2,509467	1,621223	,879	-10,42035	5,40142
	21,01	-,205473	,611966	1,000	-2,80473	2,39378

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Tabla 32 . Prueba de Games-Howell (Arsénico)

En la tabla 32, aparecen todas las posible combinaciones dos a dos entre todos los niveles o categorías de la variable factor (Kilómetros a los que se encuentra la estación con respecto a la Central Térmica), las diferencias entre los valores medios de concentración de cada dos grupos, el error típico de esas diferencias y el nivel crítico asociado a cada diferencia (Significación). Los grupos cuyas medias difieren significativamente al nivel de significación establecido (0,05) por defecto, se muestran marcadas con un asterisco (*) y son las siguientes:

E9, E4, E8, E7 y **E10**: Localizadas a 5,50, 8,60, 15,30, 21,00 y 23,30 Km de la Central Térmica respectivamente y con valores medios de concentración de Arsénico de: 4,59, 3,93, 0,55, 1,42 y 1,21 mg/kg respectivamente.

En la Figura 34, se muestra la distribución espacial del contenido medio de Arsénico bioacumulado durante el período 2005-2013, **atendiendo a la orografía del terreno y curvas de nivel**. Se observa un gradiente mayor en frente nordeste del área de las estaciones a estudio.

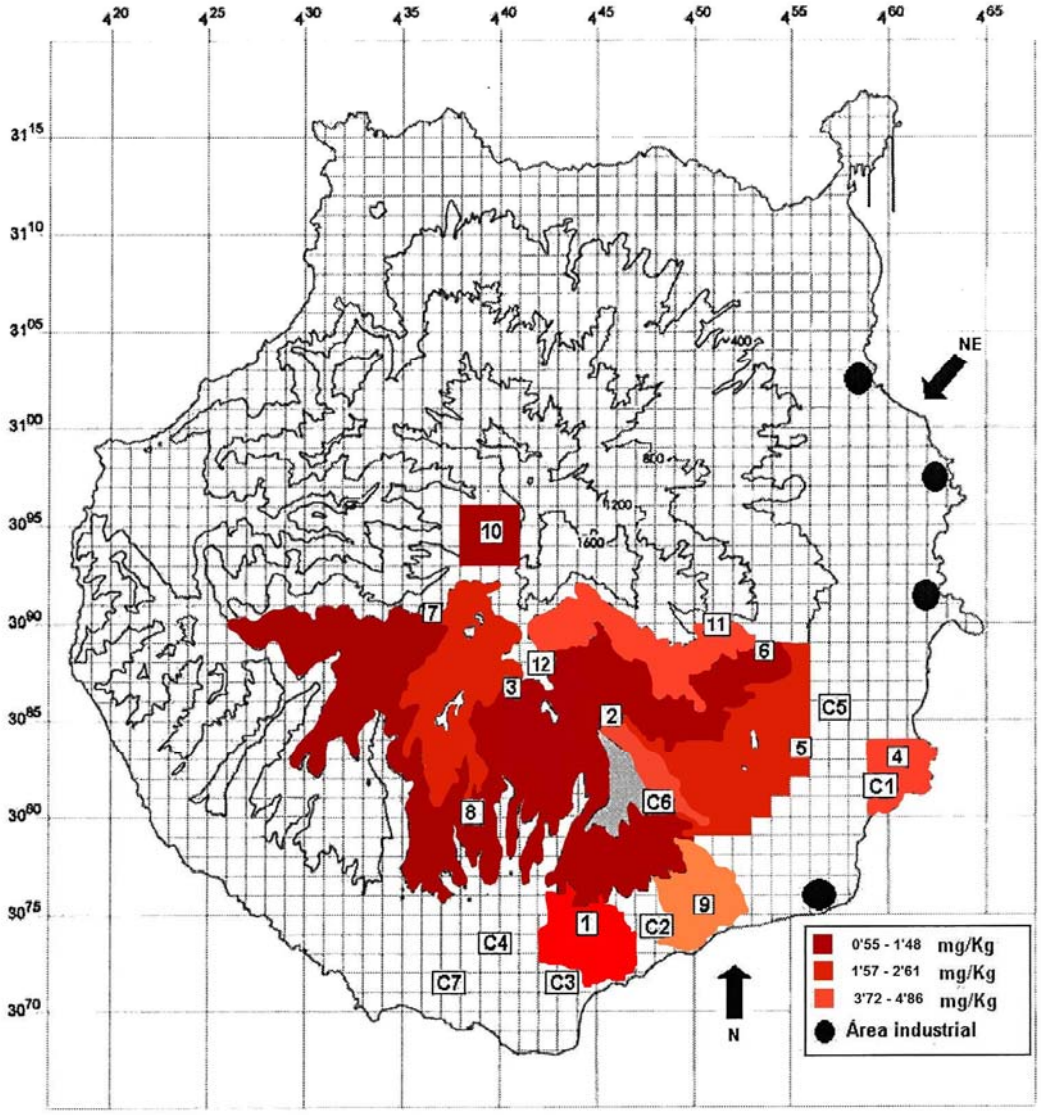


Figura 34. Mapa de Distribución de Arsénico

6.4.6. Cadmio.

6.4.6.1. Distribución de los valores medios de concentración.

En la siguiente tabla se muestran los datos de partida de los periodos de 2005, 2006, 2007, 2008, 2010 y 2013. En cada estación se representan las medias de los valores obtenidos durate los seis años, y el valor promedio correspondiente para cada una de las estaciones del total de los seis años, expresadas en unidades de mg/kg (ppm).

Estación	Localización	Altitud	Valores medios de Cadmio (mg/kg)						
		(m)	2005	2006	2007	2008	2010	2013	Promedio
E9	Aldea Blanca	**160**	0,198	0,171	0,169			0,098	**0,159**
E1	Pico Tabaibas	**519**	0,138	0,135	0,149	0,044	0,078	0,116	**0,110**
E4	Ma. Arinaga	**199**	0,265	0,113	0,126	0,240	0,085	0,208	**0,173**
E2	Ma. Carboneras	**512**	2,517	4,373	0,100		0,062	1,832	**1,777**
E5	Ma. Agüimes	**352**	5,676	0,004	0,020	0,014	0,075	0,986	**1,129**
E3	Santa Lucía	**843**	8,907	5,099	0,119		0,034	2,452	**3,322**
E6	Ingenio-Pasadilla	**634**	0,004	0,004	0,126		0,032	0,082	**0,050**
E8	Gitagana	**350**	0,129	0,127	0,128			0,138	**0,131**
E12	Temisas	**850**	0,004	0,038	0,105	0,105	0,018	0,083	**0,059**
E7	Cruz Grande	**1.240**	3,350	0,078	0,105		0,013	0,028	**0,614**
E11	Ingenio- Cazadores	**900**	0,443	0,041	0,165	0,052	0,036	0,183	**0,153**
E10	Pico de las Nieves	**1.700**	2,435	0,052	0,089	1,242	0,189	1,283	**0,882**
	No se dispone de resultados								

Tabla 33 . Concentración de Cadmio

En la Figura 35, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestro) de todos los años a estudio. En ella se representa: en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a su distancia a la Central Térmica** (la estación E9 es la más cercana y la E10 es la más alejada) y en el eje de ordenadas la concentración media de Cadmio expresada en unidades de mg/kg.

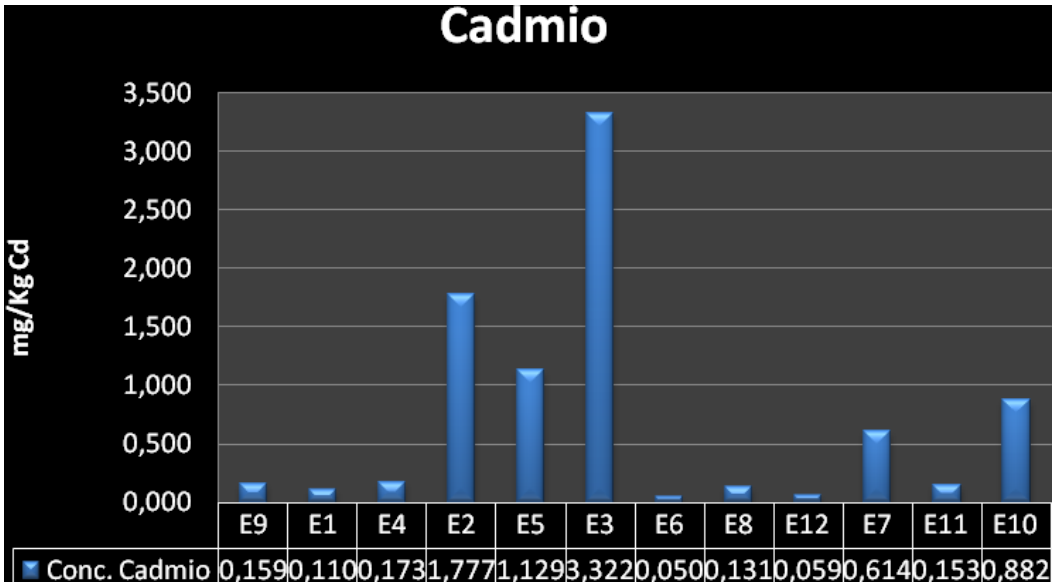


Figura 35. Concentración Promedio Cadmio en relación con la Distancia a la Central

En la representación gráfica se aprecia la existencia de valores más o menos diferentes en cada una de las estaciones, con un valor máximo de 3,32 mg /Kg en la Estación 3 **(E3**) y un valor mínimo de 0,05 mg/kg en la Estación 6 (**E6**).

En la Figura 36, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestreo) de todos los años a estudio. En ella se representa en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a la altura a la que están localizadas** (la estación E9 es la más baja y la E10 es la más alta), y en el eje de ordenadas la concentración media de Cadmio expresada en unidades de mg/kg.

De nuevo, se aprecian valores más o menos diferentes, teniendo un aumento de concentración promedio de Cadmio, en la estación **E5 (**1,12 mg/kg) localizada a 352 m de altura, disminuyendo a partir de los 500 m de altura y teniendo como punto máximo la estación **E3** (3,32 mg/kg) que se encuentra localizada a 843 m de altura.

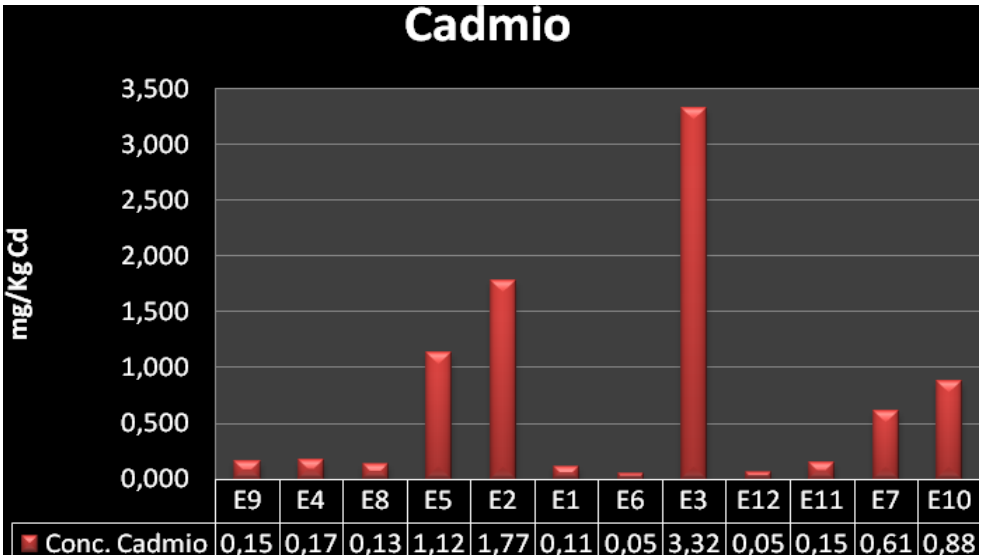


Figura 36. Concentración Promedio Cadmio en relación a la Altura de la Estación

6.4.6.2. Comparación de los valores medios de concentración.

Con objeto de evaluar estadísticamente sí, las diferencias apreciadas, se pueden considerar como significativas y por lo tanto, poder afirmar la posible influencia de la localización en la concentración de Cadmio en los líquenes, se ha aplicado el método de "Análisis de Varianza" (ANOVA) al conjunto de todos los valores muestrales obtenidos, dando como resultado la siguiente tabla:

ANOVA de un factor

mg/kg de Cd

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	54,123	11	4,920	2,405	,017
Intra-grupos	108,440	53	2,046		
Total	162,563	64			

Tabla 34. ANOVA (Cadmio).

Se pone de manifiesto que, el Nivel de significación 0,017 es menor que 0,05, y por lo tanto, existen diferencias entre los valores medios de concentración en todos los años a estudio, en al menos, algunas de las estaciones.

Para determinar y agrupar aquellas localizaciones o estaciones que, dan lugar a niveles de concentración significativamente diferentes, se ha recurrido a los tests estadísticos de comparación múltiple, que proporciona el "Método Tukey HSD", adoptando coeficientes de confianza del 95%. Las conclusiones de su aplicación se resumen en la siguiente tabla.

mg/kg Cadmio

HSD de Tukey

mg/kg de Cd

Tukey B

Kilómetros	Estación	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
14,80	E6	,04960	
17,00	E12	,05883	
8,20	E1	,11000	
15,30	E8	,13050	
21,00	E11	,15333	
5,50	E9	,15900	
8,60	E4	,17283	
21,01	E7	,61400	,61400
23,30	E10	,88167	,88167
10,90	E5	1,12917	1,12917
8,80	E2	1,77680	1,77680
14,00	E3		3,32220

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,294.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 35. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas. (Factor Distancia-Cd)

mg/kg de Cd

Tukey B

Metros	Estación	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
634	E6	,04960	
850	E12	,05883	
519	E1	,11000	
350	E8	,13050	
900	E11	,15333	
160	E9	,15900	
199	E4	,17283	
1240	E7	,61400	,61400
1700	E10	,88167	,88167
352	E5	1,12917	1,12917
512	E2	1,77680	1,77680
843	E3		3,32220

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,294.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 36. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas. (Factor Altura-Cd)

En las tablas anteriores se puede apreciar la existencia de dos grupos homogéneos:

1. Integrado por las estaciones **E6, E12, E1, E8, E11, E9, E4, E7, E10, E5** y **E2** ubicadas a 14,8, 17,0, 8,2, 15,3, 21,0, 5,5, 8,6, 21,01, 23,3, 10,9 y 8,8 Km de la Central respectivamente, con valores medios de concentración que van de 0,05 a 1,78 mg/kg de Cadmio.

2. Integrado de nuevo por las estaciones **E7, E10, E5, E2** y además, por la estación **E3**, ubicadas a 21,01, 23,3, 10,9, 8,8 y 14,0 Km de la Central respectivamente y con valores medios de concentración que van de 0,61 a 3,32 mg/kg de Cadmio.

En la Figura 37, se muestra la distribución espacial del contenido medio de Cadmio bioacumulado durante el período 2005-2013, **atendiendo a la orografía del terreno y curvas de nivel**. Se observa un gradiente mayor en frente nordeste del área de las estaciones a estudio.

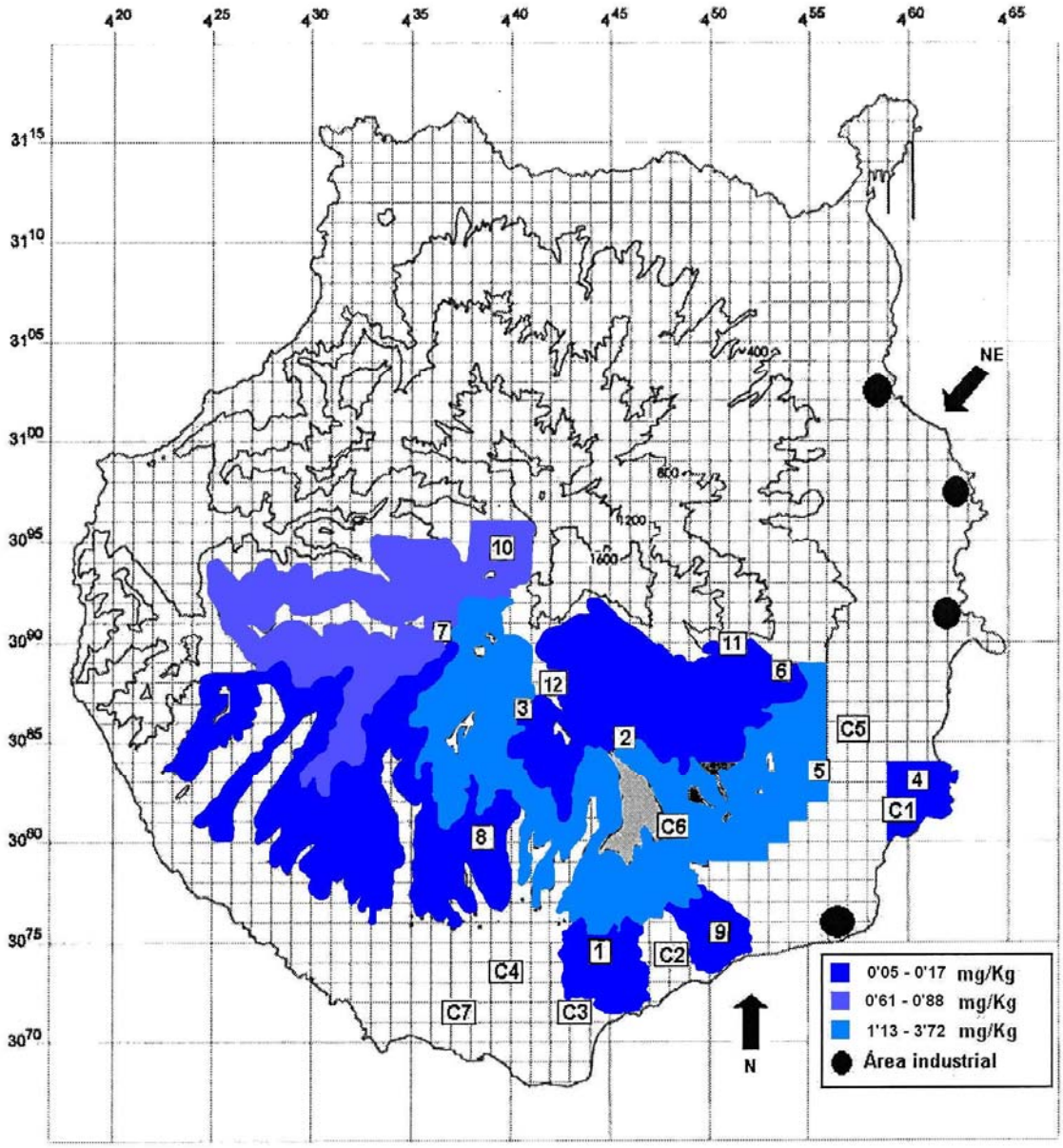


Figura 37. Mapa de Distribución de Cadmio.

6.4.7. Cobre.

6.4.7.1. Distribución de los valores medios de concentración.

En la siguiente tabla se muestran los datos de partida de los periodos de 2005, 2006, 2007, 2008, 2010 y 2013. En cada estación se representan las medias de los valores obtenidos dutante los seis años y el valor medio correspondiente para cada una de las estaciones del total de los seis años, expresadas en unidades de mg/kg (ppm).

Estación	Localización	Altitud	Valores medios de Cobre (mg/kg)						
		(m)	2005	2006	2007	2008	2010	2013	Promedio
E9	Aldea Blanca	**160**	18,745	17,321	16,583			16,325	**17,244**
E1	Pico Tabaibas	**519**	15,098	15,102	10,550	4,951	15,308	11,420	**13,109**
E4	Ma. Arinaga	**199**	10,953	9,677	7,286	8,075	13,997	8,960	**10,010**
E2	Ma. Carboneras	**512**	14,316	17,074	6,822		13,753	12,460	**12,885**
E5	Ma. Agüimes	**352**	6,280	15,500	18,166	19,750	19,329	16,325	**19,225**
E3	Santa Lucía	**843**	62,876	44,806	12,372		19,056	26,850	**31,174**
E6	Ingenio-Pasadilla	**634**	12,113	12,361	14,288		21,813	13,540	**14,823**
E8	Gitagana	**350**	7,371	6,987	6,087			6,850	**6,824**
E12	Temisas	**850**	7,499	9,723	4,688	8,483	10,713	5,690	**10,177**
E7	Cruz Grande	**1.240**	20,605	6,153	10,508		18,522	12,450	**18,168**
E11	Ingenio- Cazadores	**900**	19,287	9,460	7,279	8,895	16,850	8,955	**10,310**
E10	Pico de las Nieves	**1.700**	14,536	15,141	5,282	6,504	7,965	6,850	**15,105**
	No se dispone de resultados								

Tabla 37 . Concentración de Cobre

En la Figura 38, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestro) de todos los años a estudio. En ella se representa: en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a su distancia a la Central Térmica** (la estación E9 es la más cercana y la E10 es la más alejada) y en el eje de ordenadas la concentración media de Cobre expresada en unidades de mg/kg.

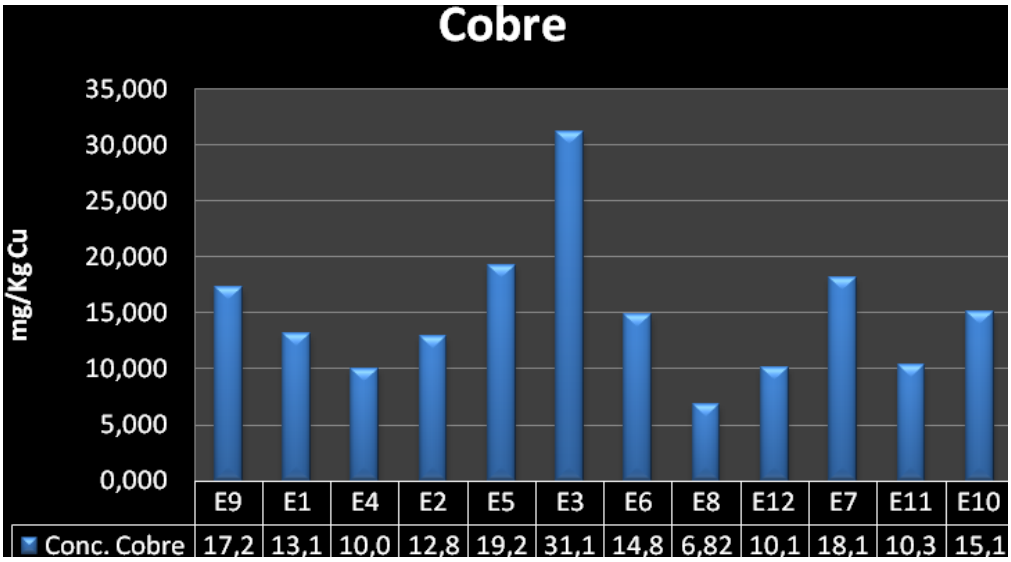


Figura 48. Concentración Promedio Cobre en relación con la Distancia a la Central.

En la representación gráfica se aprecia la existencia de valores más o menos diferentes en cada una de las estaciones, con un valor máximo de 31,1 mg /Kg en la Estación 3 **(E3**) y un valor mínimo de 6,82 mg/kg en la Estación 8 (**E8**).

En la Figura 39, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestreo) de todos los años a estudio. En ella se representa en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a la altura a la que están localizadas** (la estación E9 es la más baja y la E10 es la más alta), y en el eje de ordenadas la concentración media de Cobre expresada en unidades de mg/kg.

Se observa que para este criterio, el valor máximo de concentración media de Cobre (31,1 mg/kg) se alcanza en la estación **E3**, que se encuentra a una altura de 843 m de altura, disminuyendo a partir de esta altura y teniendo como valor mínimo (6,82 mg/kg) la **E8**, localizada a 350 m de altura.

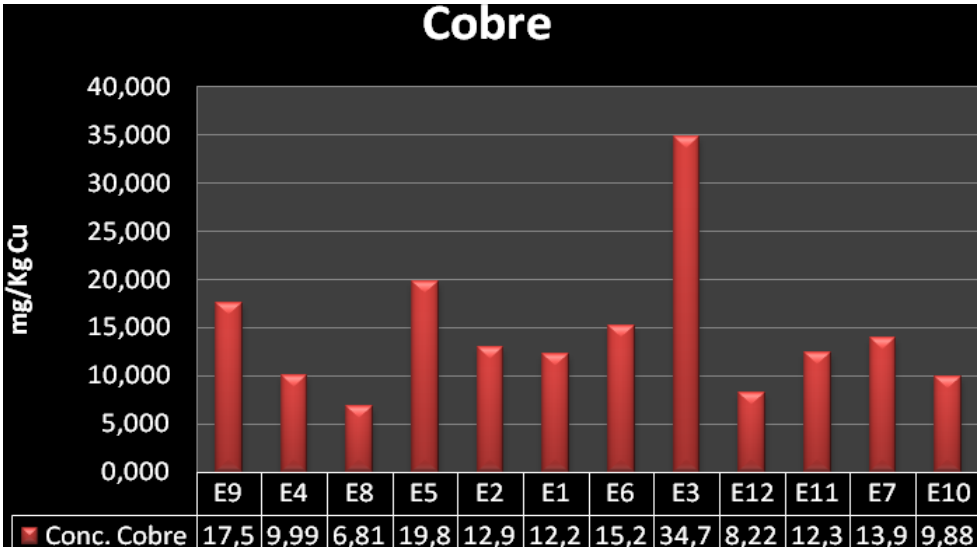


Figura 39. Concentración Promedio Cobre en relación con la Altura de la Estación.

6.4.7.2. Comparación de los valores medios de concentración.

Con objeto de evaluar estadísticamente sí, las diferencias apreciadas, se pueden considerar como significativas y por lo tanto, poder afirmar la posible influencia de la localización en la concentración de Cobre en los líquenes, se ha aplicado el método de "Análisis de Varianza" (ANOVA) al conjunto de todos los valores muestrales obtenidos, dando como resultado la siguiente tabla:

ANOVA de un factor

mg/kg de Cu

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	2250,297	11	204,572	2,112	,035
Intra-grupos	5230,002	54	96,852		
Total	7480,299	65			

Tabla 38. ANOVA (Cobre)

Se pone de manifiesto que a un Nivel de Significación = 0,035 existen diferencias entre los valores medios de concentración en todos los años a estudio, en al menos, algunas de las estaciones.

Para determinar y agrupar aquellas localizaciones o estaciones que, dan lugar a niveles de concentración significativamente diferentes, se ha recurrido a los tests estadísticos de comparación múltiple, que proporciona el "Método Tukey HSD", adoptando coeficientes de confianza del 95%. Las conclusiones de su aplicación se resumen en la siguiente tabla.

mg/kg Cobre

HSD de Tukey

mg/kg de Cu

Tukey B

Kilómetros	Estación	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
15,30	E8	6,82375	
8,60	E4	10,01029	
17,00	E12	10,17700	
21,00	E11	10,30967	
8,80	E2	12,88500	12,88500
8,20	E1	13,10917	13,10917
14,80	E6	14,82300	14,82300
23,30	E10	15,10533	15,10533
5,50	E9	17,24350	17,24350
21,01	E7	18,16800	18,16800
10,90	E5	19,22500	19,22500
14,00	E3		31,17400

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,350.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 39. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Distancia-Cu)

mg/kg de Cu

Tukey B

Metros	Estación	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
350	E8	6,82375	
199	E4	10,01029	
850	E12	10,17700	
900	E11	10,30967	
512	E2	12,88500	12,88500
519	E1	13,10917	13,10917
634	E6	14,82300	14,82300
1700	E10	15,10533	15,10533
160	E9	17,24350	17,24350
1240	E7	18,16800	18,16800
352	E5	19,22500	19,22500
843	E3		31,17400

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,350.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 40. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Altura-Cu).

En las tablas anteriores se puede apreciar la existencia de 2 (dos) grupos significativamente diferentes existiendo a su vez, dos grupos homogéneos:

1. Integrado por las estaciones **E8**, **E4, E12, E11, E2, E1, E6, E10, E9**, **E7** y **E5,** ubicadas a 15,3, 8,6, 17,0, 21,0, 8,8, 8,2, 14,8, 23,3, 5,5, 21,01 y 10,9 Km respectivamente de la Central Térmica, con valores de concentración promedio que van de 6,82 a 19,23 mg/kg de Cobre.

2. Integrado de nuevo por las estaciones **E2, E1, E6, E10, E9**, **E7**, **E5** y por la estación **E3**, ubicadas a 8,8, 8,2, 14,8, 23,3, 5,5, 21,01, 10,9 y 14,0 Km respectivamente de la Central Térmica, con valores de concentración promedio que van de 12,89 a 31,17 mg/kg de Cobre.

En la Figura 40, se muestra la distribución espacial del contenido medio de Cobre bioacumulado durante el período 2005-2013, **atendiendo a la orografía del terreno y curvas de nivel**. Se observa un gradiente mayor en frente nordeste del área de las estaciones a estudio, así como en las Estaciones 3 y 9.

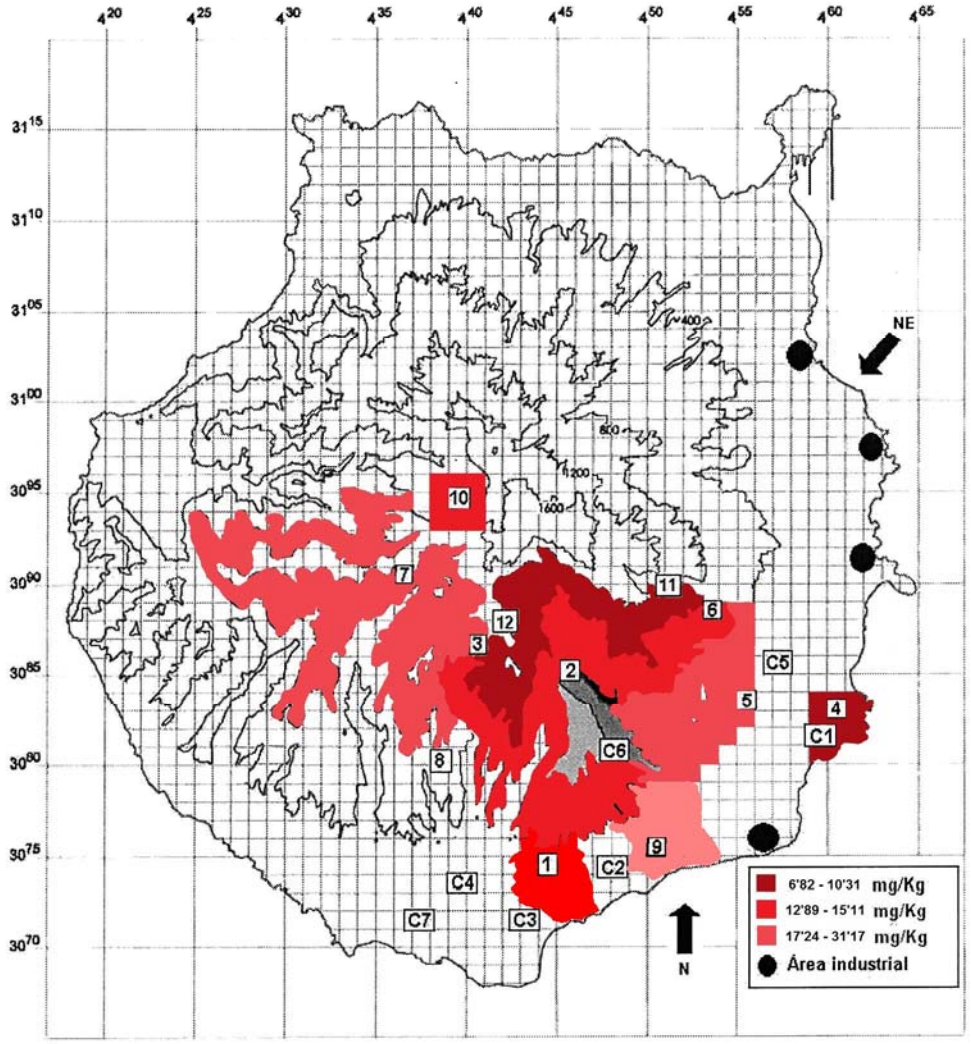


Figura 40. Mapa de Distribución de Cobre

6.4.8. Cromo.

6.4.8.1. Distribución de los valores medios de concentración.

En la siguiente tabla se muestran los datos de partida de los periodos de 2005, 2006, 2007, 2008, 2010 y 2013. En cada estación se representan las medias de los valores obtenidos en los seis años, y el valor promedio correspondiente para cada una de las estaciones del total de los seis años, expresadas en unidades de mg/kg (ppm).

Estación	Localización	Altitud (m)	Valores medios de Cromo (mg/kg)						
			2005	2006	2007	2008	2010	2013	Promedio
E9	Aldea Blanca	160	27,127	28,908	32,368			26,480	28,721
E1	Pico Tabaibas	519	11,543	13,056	11,661	3,468	11,598	10,650	10,329
E4	Ma. Arinaga	199	4,987	4,092	3,206	5,735	3,153	4,320	4,435
E2	Ma. Carboneras	512	7,255	4,874	7,494		8,038	7,430	7,018
E5	Ma. Agüimes	352	29,038	20,121	17,405	12,448	27,769	26,480	22,210
E3	Santa Lucía	843	2,356	8,064	5,731		10,170	4,850	6,162
E6	Ingenio-Pasadilla	634	9,643	14,419	17,764		19,246	12,360	14,686
E8	Gitagana	350	8,023	8,921	9,228			6,830	8,251
E12	Temisas	850	5,571	5,295	6,315	10,554	14,198	7,830	8,294
E7	Cruz Grande	1.240	3,207	3,133	12,992		15,410	4,520	7,852
E11	Ingenio- Cazadores	900	10,392	4,513	6,756	7,506	13,312	1,820	7,383
E10	Pico de las Nieves	1.700	1,213	2,605	4,515	5,702	4,330	2,820	3,531
	No se dispone de resultados								

Tabla 41. Concentración de Cromo

En la Figura 41, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestro) de todos los años a estudio. En ella se representa: en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a su distancia a la Central Térmica** (la estación E9 es la más cercana y la E10 es la más alejada) y en el eje de ordenadas la concentración media de Cromo expresada en unidades de mg/kg.

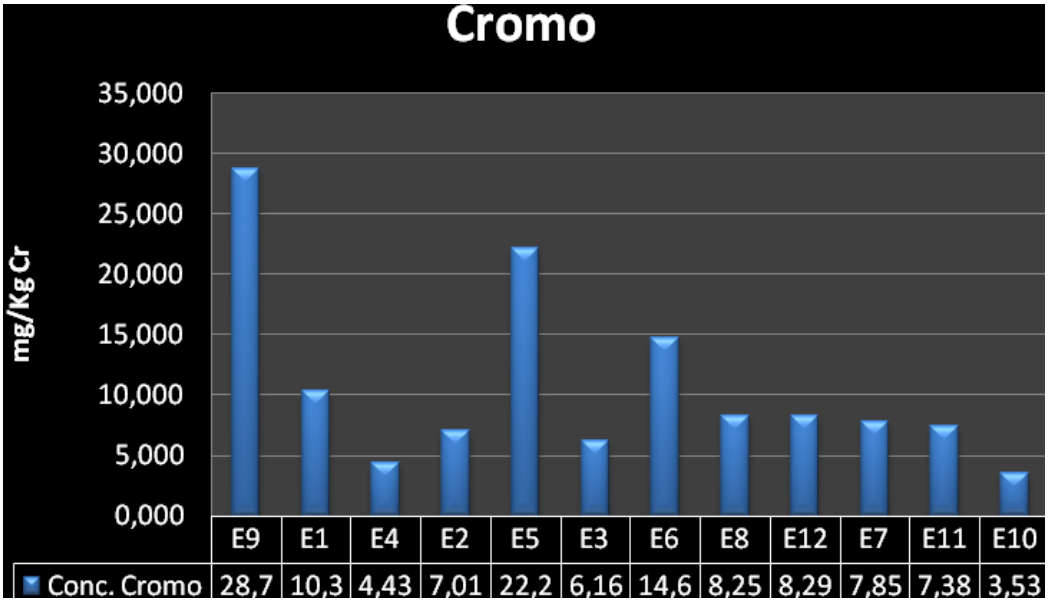


Figura 41. Concentración Promedio Cromo en relación con la Distancia a la Central

En la representación gráfica se aprecia la existencia de valores más o menos diferentes en cada una de las estaciones, con un valor máximo de 28,7 mg /Kg en la Estación 9 **(E9**) y un valor mínimo de 3,53 mg/kg en la Estación 10 (**E10**).

En la Figura 42, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestreo) de todos los años a estudio. En ella se representa en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a la altura a la que están localizadas** (la estación E9 es la más baja y la E10 es la más alta), y en el eje de ordenadas la concentración media de Cromo expresada en unidades de mg/kg.

Tomando en cuenta este criterio, se observa una distribución más o menos diferente de los valores medios de concentración de Cromo, con un valor máximo en la estación más baja, la estación **E9** (28,7 mg/kg) con una altura de 160 m y que también es la más cercana a la central, y como valor mínimo en la más alta y alejada de ellas, la estación **E10** (3,53 mg/kg) con una altura de 1.700 m.

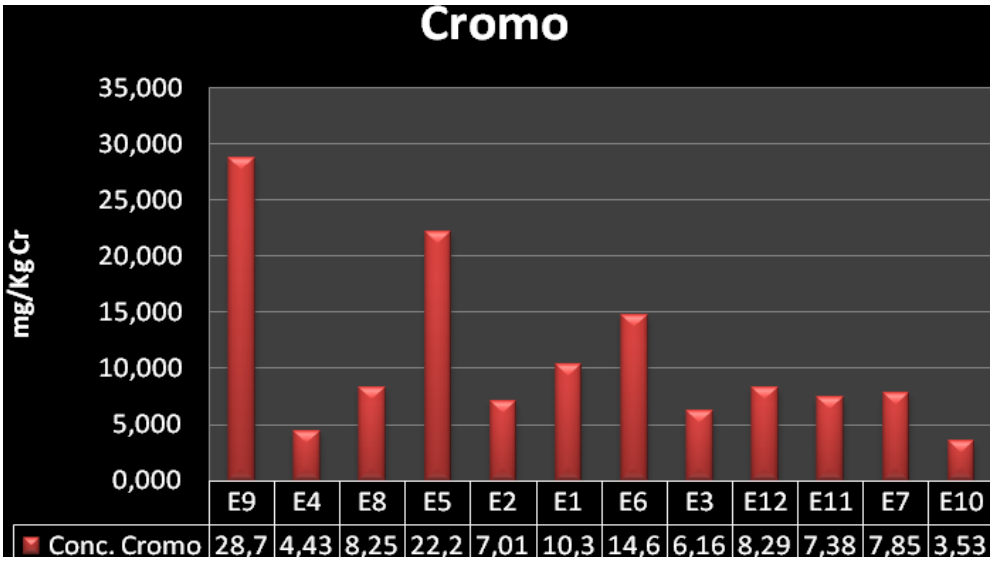


Figura 42. Concentración Promedio Cromo en relación con la Altura de la Estación

6.4.8.2. Comparación de los valores medios de concentración.

Con objeto de evaluar estadísticamente sí, las diferencias apreciadas, se pueden considerar como significativas y por lo tanto, poder afirmar la posible influencia de la localización en la concentración de Cromo en los líquenes, se ha aplicado el método de "Análisis de Varianza" (ANOVA) al conjunto de todos los valores muestrales obtenidos, dando como resultado la siguiente tabla:

ANOVA de un factor

mg/kg de Cr

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	3047,071	11	277,006	20,410	,000
Intra-grupos	705,765	52	13,572		
Total	3752,836	63			

Tabla 42. ANOVA (Cromo).

Se pone de manifiesto que a un Nivel de significación = 0,000 existen diferencias entre los valores medios de concentración en todos los años a estudio, en al menos, algunas de las estaciones.

Para determinar y agrupar aquellas localizaciones o estaciones que, dan lugar a niveles de concentración significativamente diferentes, se ha recurrido a los tests estadísticos de comparación múltiple, que proporciona el "Método Tukey HSD", adoptando coeficientes de confianza del 95%. Las conclusiones de su aplicación se resumen en la siguiente tabla:

mg/kg Cromo

HSD de Tukey

mg/kg de Cr

Tukey B

Kilómetros	Estación	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
23,30	E10	3,53083			
8,60	E4	4,43450			
14,00	E3	6,16222			
8,80	E2	7,01822			
21,00	E11	7,38322			
21,01	E7	7,85238	7,85238		
15,30	E8	8,25050	8,25050		
17,00	E12	8,29377	8,29377		
8,20	E1	10,32933	10,32933		
14,80	E6		14,68636		
10,90	E5			22,21012	
5,50	E9				28,72075

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,217.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 43. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Distancia- Cr).

mg/kg de Cr

Tukey B

Metros	Estación	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
1700	E10	3,53083			
199	E4	4,43450			
843	E3	6,16222			
512	E2	7,01822			
900	E11	7,38322			
1240	E7	7,85238	7,85238		
350	E8	8,25050	8,25050		
850	E12	8,29377	8,29377		
519	E1	10,32933	10,32933		
634	E6		14,68636		
352	E5			22,21012	
160	E9				28,72075

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,217.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 44. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Altura- Cr).

En las tablas anteriores, se puede apreciar la existencia de 4 (cuatro) grupos significativamente diferentes existiendo también, cuatro grupos homogéneos:

1. Integrado por las estaciones **E10**, **E4**, **E3**, **E2, E11, E7, E8, E12** y **E1** ubicadas a 23,3, 8,6, 14,0, 8,8, 21,0, 21,0, 15,3, 17,0 y 8,2 Km respectivamente de la Central Térmica, con valores medios de concentración que van de 3,53 a 10,33 mg/kg de Cromo.

2. Integrado de nuevo por las estaciones **E7, E8, E12** y **E1** y además por la estación **E6,** ubicadas a 21,0, 15,3, 17,0, 8,2 y 14,8 Km respectivamente de la Central Térmica, con valores medios de concentración que van 7,85 a 14,69 mg/kg de Cromo.

3. Integrado únicamente por la estación **E5**, ubicada a 10,9 Km de la Central Térmica, con un valor medio de concentración de 22,21 mg/kg de Cromo.

4. Integrado únicamente por la estación **E9**, ubicada a 5,5 Km de la Central Térmica, con un valor medio de concentración de 28,72 mg/kg de Cromo.

En la Figura 43, se muestra la distribución espacial del contenido medio de Cromo bioacumulado durante el período 2005-2013, **atendiendo a la orografía del terreno y curvas de nivel**. Se observa un gradiente mayor en frente nordeste del área de las estaciones a estudio.

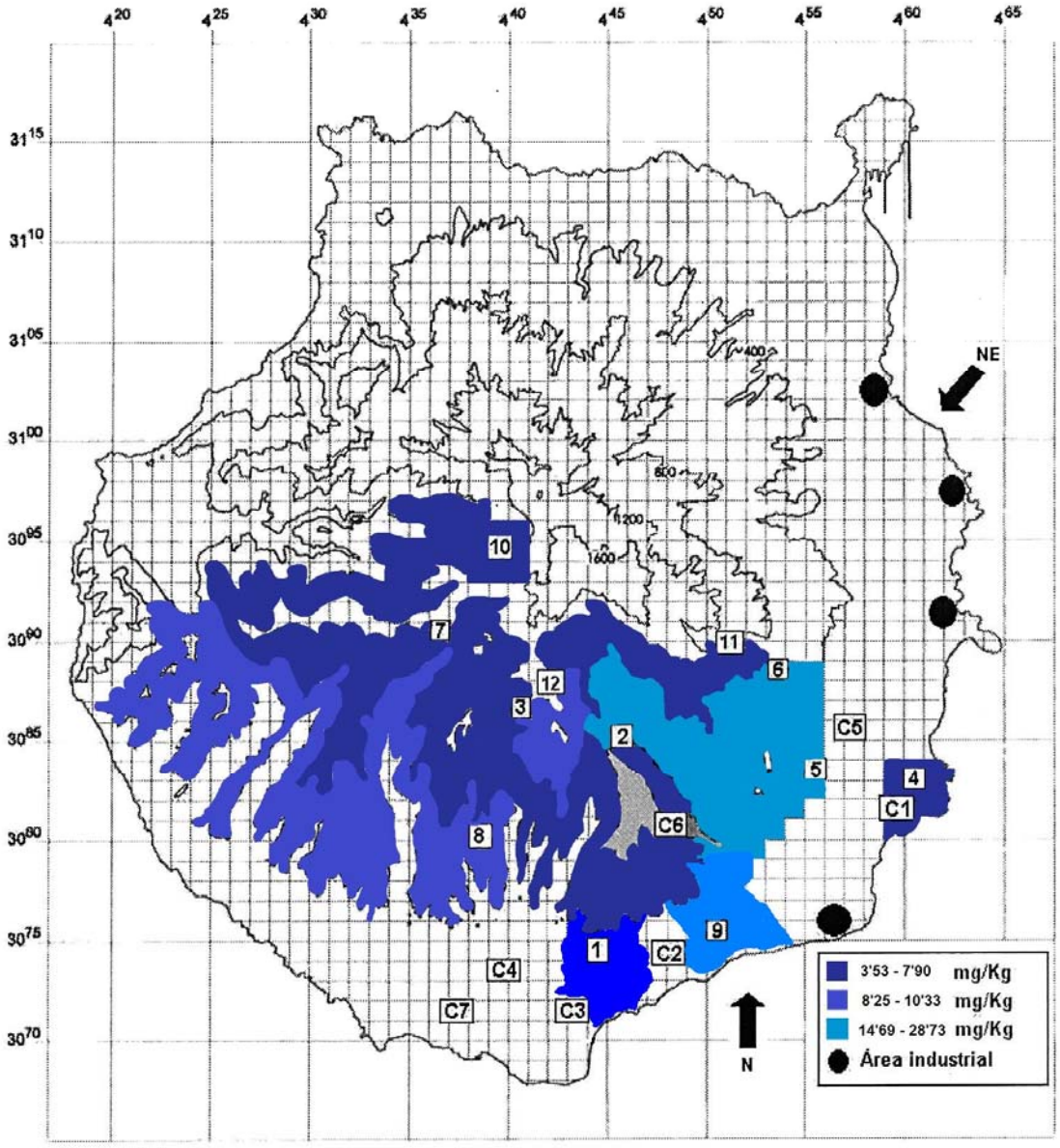


Figura 43. Mapa de Distribución de Cromo.

6.4.9. Mercurio.

6.4.9.1. Distribución de los valores medios de concentración.

En la siguiente tabla se muestran los datos de partida de los periodos de 2005, 2006, 2007, 2008, 2010 y 2013. En cada estación, se representan las medias de los valores obtenidos en los seis años, y además, el valor promedio correspondiente para cada una de las estaciones del total de los seis años, expresadas en unidades de mg/kg (ppm).

Estación	Localización	Altitud	Valores medios de Mercurio (mg/kg)						
		(m)	2005	2006	2007	2008	2010	2013	Promedio
E9	Aldea Blanca	**160**	1,897	1,454	1,368			1,320	**1,510**
E1	Pico Tabaibas	**519**	1,094	0,986	0,975	0,999	0,262	0,865	**0,864**
E4	Ma. Arinaga	**199**	0,932	0,845	0,315	0,572	0,864	0,650	**0,696**
E2	Ma. Carboneras	**512**	0,670	0,006	0,825		0,402	0,670	**0,515**
E5	Ma. Agüimes	**352**	0,006	0,215	0,615	0,262	0,368	0,265	**0,289**
E3	Santa Lucía	**843**	0,006	0,234	0,641		0,196	0,354	**0,286**
E6	Ingenio-Pasadilla	**634**	0,348	0,161	3,003		0,490	0,345	**0,869**
E8	Gitagana	**350**	1,091	1,768	1,818			0,288	**1,241**
E12	Temisas	**850**	0,006	0,188	0,837	0,221	0,561	0,265	**0,346**
E7	Cruz Grande	**1.240**	0,006	0,093	0,963		0,401	0,276	**0,348**
E11	Ingenio- Cazadores	**900**	0,386	0,197	0,923	0,627	0,234	0,321	**0,448**
E10	Pico de las Nieves	**1.700**	0,237	0,254	2,778	0,712	0,501	0,630	**0,852**
	No se dispone de resultados								

Tabla 45. Concentración de Mercurio

En la Figura 44, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestro) de todos los años a estudio. En ella se representa: en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a su distancia a la Central Térmica** (la estación E9 es la más cercana y la E10 es la más alejada) y en el eje de ordenadas la concentración media de mercurio expresada en unidades de mg/kg.

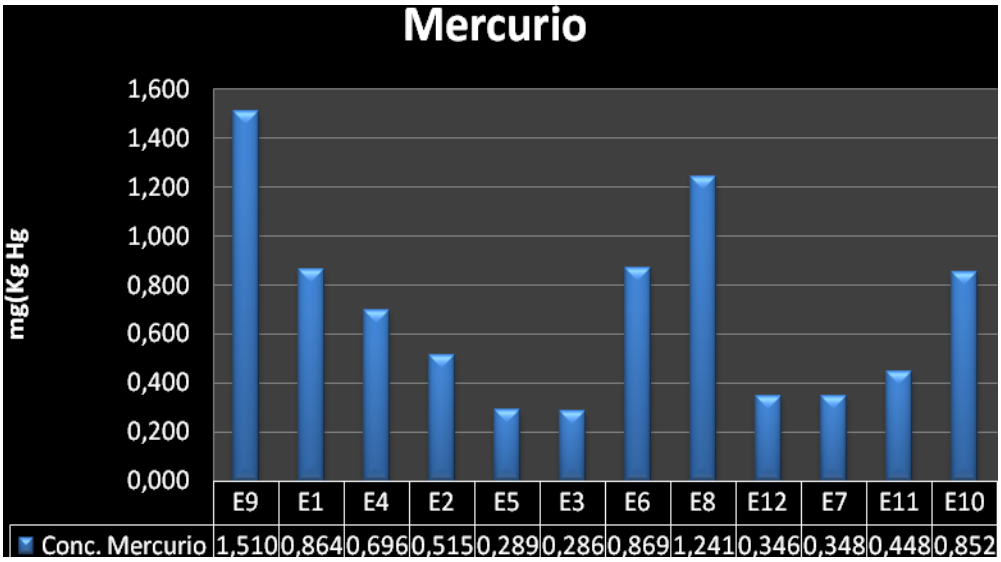


Figura 44. Concentración Promedio Mercurio en relación con la Distancia a la Central.

En la representación gráfica se aprecia la existencia de valores más o menos diferentes en cada una de las estaciones, con un valor máximo de 1,51 mg /Kg en la Estación 9, **(E9**) y un valor mínimo de 0,28 mg/kg en la Estación 3, (**E3**).

En la Figura 45, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestreo) de todos los años a estudio. En ella se representa en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a la altura a la que están localizadas** (la estación E9 es la más baja y la E10 es la más alta), y en el eje de ordenadas la concentración media de mercurio expresada en unidades de mg/kg.

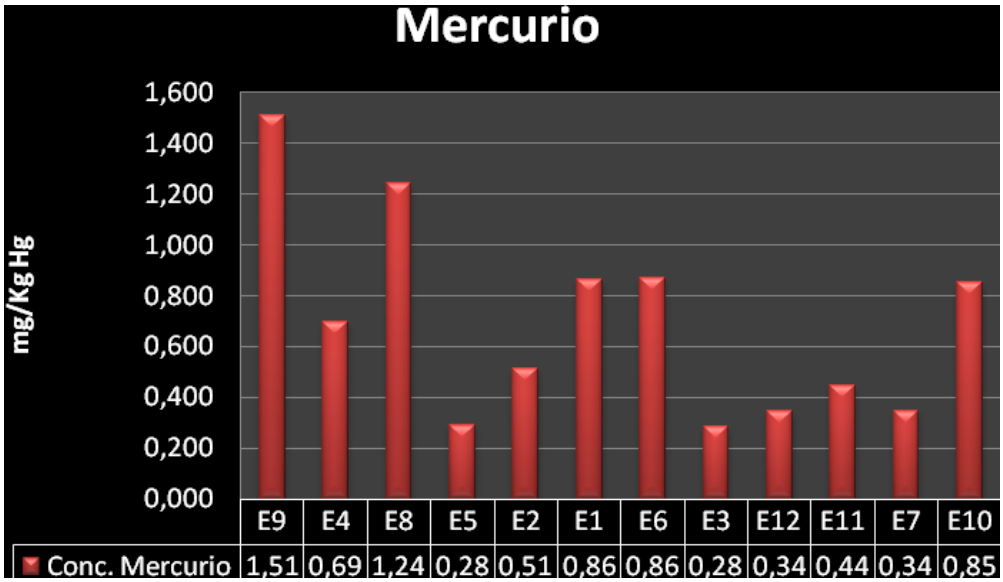


Figura 45. Concentración Promedio Mercurio en relación con la Altura de la Estación.

Tomando en cuenta este criterio, se observa una distribución más o menos diferente de los valores medios de concentración de Mercurio, con un valor máximo en la estación más baja, la estación **E9** (1,51 mg/kg) con una altura de 160 m y que también es la más cercana a la central, y como valor mínimo en la estación **E3** (0,28 mg/kg), con una altura de 843 m.

6.4.9.2. Comparación de los valores medios de concentración.

Con objeto de evaluar estadísticamente sí, las diferencias apreciadas, se pueden considerar como significativas y por lo tanto, poder afirmar la posible influencia de la localización en la concentración de Mercurio en los líquenes, se ha aplicado el método de "Análisis de Varianza" (ANOVA) al conjunto de todos los valores muestrales obtenidos, dando como resultado la siguiente tabla:

ANOVA de un factor

mg/kg de Hg

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	7,916	11	,720	2,478	,014
Intra-grupos	15,102	52	,290		
Total	23,018	63			

Tabla 46. ANOVA (Mercurio)

Se pone de manifiesto que a un Nivel de significación = 0,014 existen diferencias entre los valores medios de concentración en todos los años a estudio, en al menos, algunas de las estaciones.

Para determinar y agrupar aquellas localizaciones o estaciones que, dan lugar a niveles de concentración significativamente diferentes, se ha recurrido a los tests estadísticos de comparación múltiple, que proporciona el "Método Tukey HSD", adoptando coeficientes de confianza del 95%. Las conclusiones de su aplicación se resumen en la siguiente tabla.

HSD de Tukey

mg/kg de Hg

Tukey B

Kilómetros	Estación	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
14,00	E3	,28620	
10,90	E5	,28850	
17,00	E12	,34633	
21,01	E7	,34780	
21,00	E11	,44800	,44800
8,80	E2	,51460	,51460
8,60	E4	,69633	,69633
23,30	E10	,85200	,85200
8,20	E1	,86350	,86350
14,80	E6	,86940	,86940
15,30	E8	1,24125	1,24125
5,50	E9		1,50975

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,217.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 47. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Distancia-Hg).

mg/kg de Hg

Tukey B

Metros	Estación	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
843	E3	,28620	
352	E5	,28850	
850	E12	,34633	
1240	E7	,34780	
900	E11	,44800	,44800
512	E2	,51460	,51460
199	E4	,69633	,69633
1700	E10	,85200	,85200
519	E1	,86350	,86350
634	E6	,86940	,86940
350	E8	1,24125	1,24125
160	E9		1,50975

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,217.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 48. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Altura-Hg).

En las tablas anteriores, se puede apreciar la existencia de 4 (cuatro) grupos significativamente diferentes existiendo también, cuatro grupos homogéneos:

1. Integrado por las estaciones **E3, E5, E12, E7** y **E11**, localizadas a 14,0, 10,9, 17,0 21,01 y 21,0 Km de la Central Térmica respectivamente; con concentraciones promedio de Mercurio que van de 0,29 a 0,45 mg/kg.

2. Integrado de nuevo por la estación **E11**, y además por las estaciones **E2, E4, E10, E1, E6, E8** y **E9** localizadas a 21,0, 8,8, 8,6, 23,3, 8,2, 14,8, 15,3 y 5,5 Km de la Central Térmica respectivamente; con concentraciones promedio de Mercurio que van de 0,45 a 1,51 mg/kg

En la Figura 46 , se muestra la distribución espacial del contenido medio de Mercurio bioacumulado durante el período 2005-2013, **atendiendo a la orografía del terreno y curvas de nivel**. Se observa un gradiente mayor en las Estaciones 8 y 9.

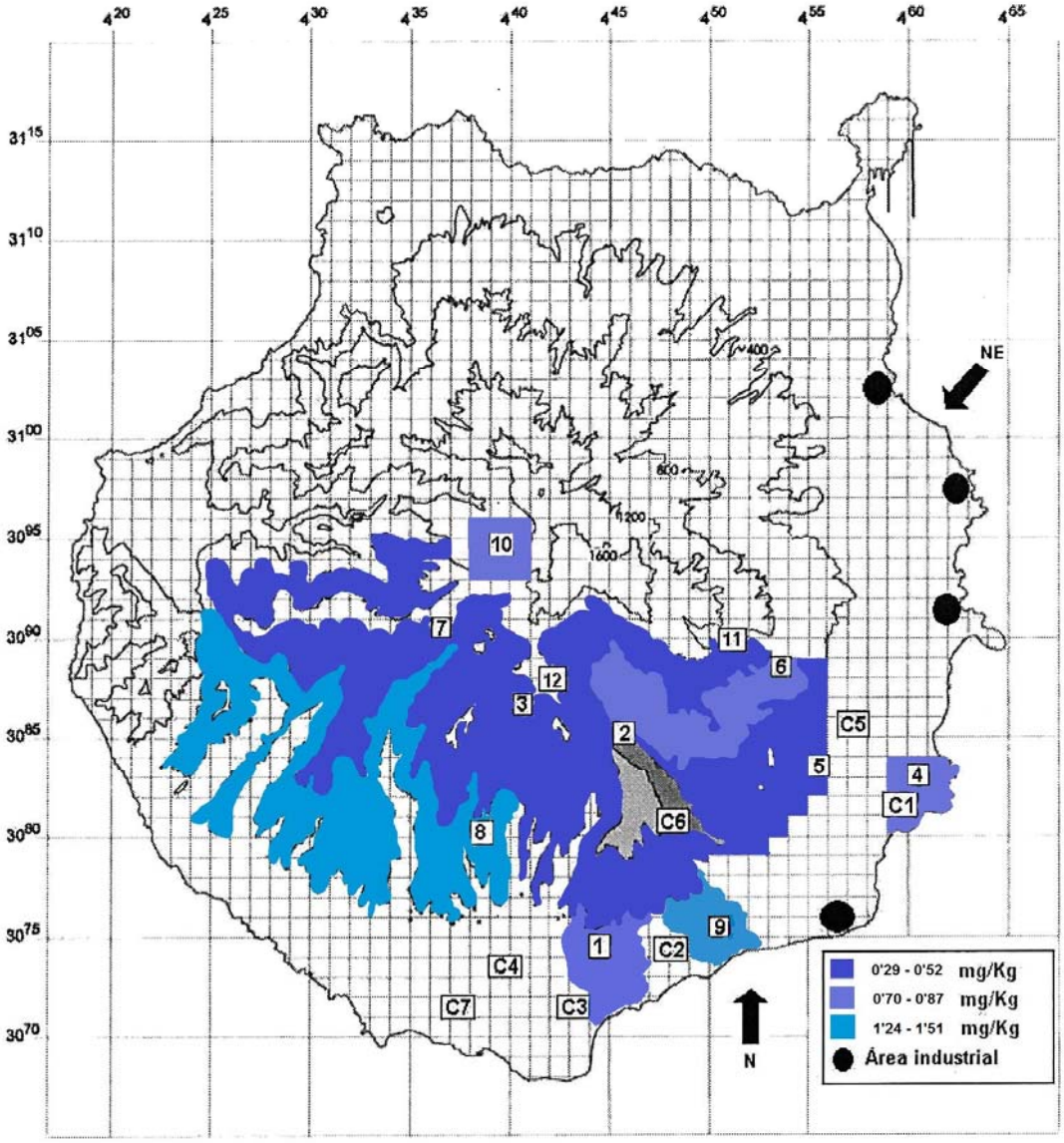


Figura 46. Mapa de Distribución de Mercurio

6.4.10. Níquel.

6.4.10.1. Distribución de los valores medios de concentración:

En la siguiente tabla se muestran los datos de partida de los periodos de 2005, 2006, 2007, 2008, 2010 y 2013. En cada estación se representan las medias de los valores obtenidos en cada uno de los seis años, y además, el valor promedio correspondiente para cada una de las estaciones del total de los seis años, expresadas en unidades de mg/kg (ppm).

Estación	Localización	Altitud (m)	Valores medios de Níquel (mg/kg)						
			2005	2006	2007	2008	2010	2013	Promedio
E9	Aldea Blanca	**160**	32,310	32,330	32,337		32,600	32,8	**32,475**
E1	Pico Tabaibas	**519**	53,480	53,453	53,501	56,300	53,800	53,2	**53,956**
E4	Ma. Arinaga	**199**	32,110	32,150	32,152	37,635	13,667	13,4	**26,852**
E2	Ma. Carboneras	**512**	23,140	23,160	23,162		15,691	14,8	**19,991**
E5	Ma. Agüimes	**352**	56,440	56,460	56,461	56,282	54,759	53,2	**55,600**
E3	Santa Lucía	**843**	86,090	86,100	86,101	86,200	23,584	23,8	**65,313**
E6	Ingenio-Pasadilla	**634**	61,810	61,820	61,823	61,600	36,731	24,3	**51,347**
E8	Gitagana	**350**	13,680	13,690	13,691	13,700	13,600	13,2	**13,594**
E12	Temisas	**850**	86,100	86,120	86,122	70,099	59,297	56,2	**73,990**
E7	Cruz Grande	**1.240**	0,860	0,880	0,900	0,910	0,940	0,81	**0,883**
E11	Ingenio- Cazadores	**900**	61,818	61,840	61,842	12,305	74,128	59,2	**55,072**
E10	Pico de las Nieves	**1.700**	0,150	0,170	0,173	0,110	0,163	0,08	**0,141**
	No se dispone de resultados								

Tabla 49. Concentración de Níquel

En la Figura 47, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestro) de todos los años a estudio. En ella se representa: en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a su distancia a la Central Térmica** (la estación E9 es la más cercana y la E10 es la más alejada) y en el eje de ordenadas la concentración media de níquel expresada en unidades de mg/kg.

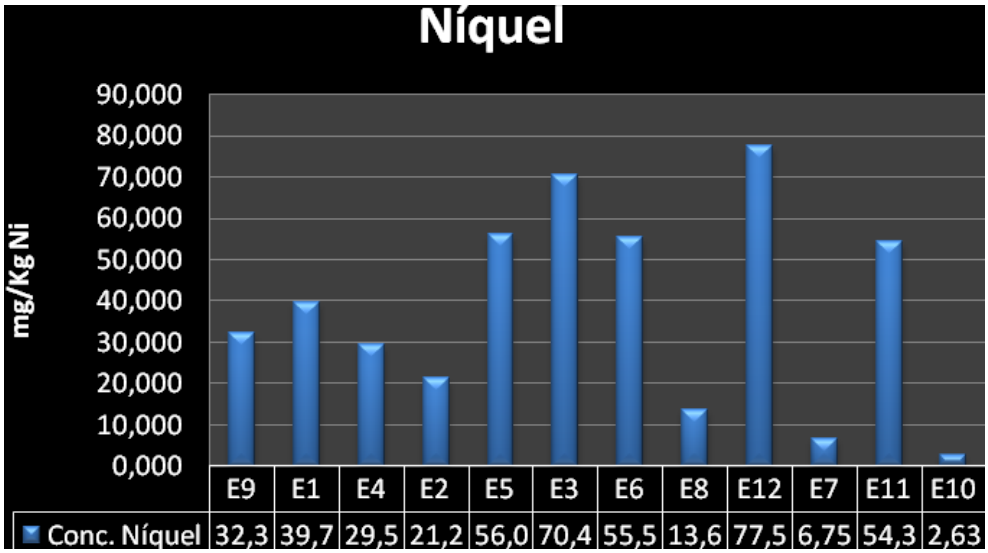


Figura 47. Concentración Promedio Níquel en relación con la Distancia a la Central

En la representación gráfica se aprecia la existencia de valores más o menos diferentes para cada una de las estaciones, con una tendencia clara de crecimiento a partir de la estación **E5**, con un valor medio de 55,6 mg/kg, llegando a un valor máximo de 73,9 mg/kg, que coincide con el valor de la **E12**.

En la Figura 48, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestreo) de todos los años a estudio. En ella se representa en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a la altura a la que están localizadas** (la estación E9 es la más baja y la E10 es la más alta), y en el eje de ordenadas la concentración media de níquel expresada en unidades de mg/kg.

Tomando en cuenta este criterio, se observa una distribución más o menos diferente de los valores medios de concentración de Níquel, con un valor máximo en la estación **E12** (73,9 mg/kg) con una altura de 850 m, y como valor mínimo en la estación **E10** (0,14 mg/kg), siendo ésta la más elevada con una altura de 1.700 m.

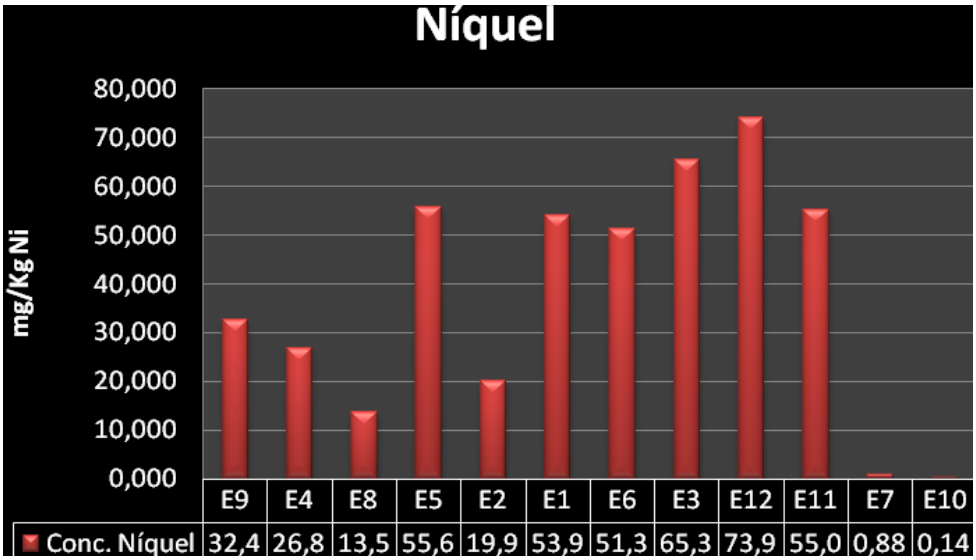


Figura 48. Concentración Promedio Níquel en relación a la Altura de la Estación.

6.4.10.2. Comparación de los valores medios de concentración.

Con objeto de evaluar estadísticamente sí, las diferencia apreciadas, se pueden considerar como significativas y por lo tanto, poder afirmar la posible influencia de la localización en la concentración bioacumulada en los líquenes, se ha aplicado el método de "Análisis de Varianza" (ANOVA) al conjunto de todos los valores muestrales obtenidos, dando como resultado la siguiente tabla:

ANOVA de un factor

mg/kg Ni

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	41406,636	11	3764,240	20,697	,000
Intra-grupos	10548,513	58	181,871		
Total	51955,148	69			

Tabla 50. ANOVA (Níquel)

Se pone de manifiesto que a un Nivel de significación = 0,000 existen diferencias entre los valores medios de concentración en todos los años a estudio, en al menos, algunas de las estaciones; por lo tanto, se rechaza la hipótesis de igualdad de medias.

Para determinar y agrupar aquellas localizaciones o estaciones que, dan lugar a niveles de concentración significativamente diferentes, se ha recurrido a los tests estadísticos de comparación múltiple, que proporciona el "Método Tukey HSD", adoptando coeficientes de confianza del 95%. Las conclusiones de su aplicación se resumen en la siguiente tabla:

mg/kg Ni

HSD de Tukey

mg/kg Ni

Tukey B

Kilómetros	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
23,30	E10	,14100			
21,01	E7	,88333			
15,30	E8	13,59350	13,59350		
8,80	E2	19,99060	19,99060		
8,60	E4		26,85233		
5,50	E9		32,47540	32,47540	
14,80	E6			51,34733	51,34733
8,20	E1			53,95567	53,95567
21,00	E11			55,07217	55,07217
10,90	E5			55,60033	55,60033
14,00	E3				65,31250
17,00	E12				73,98967

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,806.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 51. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Distancia-Ni)

mg/kg Ni

Tukey B

Metros	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
1700	E10	,14100			
1240	E7	,88333			
350	E8	13,59350	13,59350		
512	E2	19,99060	19,99060		
199	E4		26,85233		
160	E9		32,47540	32,47540	
634	E6			51,34733	51,34733
519	E1			53,95567	53,95567
900	E11			55,07217	55,07217
352	E5			55,60033	55,60033
843	E3				65,31250
850	E12				73,98967

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,806.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 52. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Altura-Ni)

En la Tabla anterior, se puede apreciar la existencia de 4 (cuatro) grupos significativamente diferentes, existiendo también 4 (cuatro) grupos homogéneos:

1. Integrado por las estaciones **E10, E7, E8,** y **E2,** localizadas a 23,3, 21,0, 15,3, y 8,8 Km de la Central Térmica respectivamente; cuyos valores medios de concentración van de 0,14 a 19,9 mg/kg de Níquel.

2. Integrado de nuevo por las estaciones **E7, E8, E2, E4, E9** localizadas a 21,0, 15,3, 8,8, 8,6 y 5,5 Km de la Central Térmica respectivamente; cuyos valores medios de concentración van de 19,9 a 32,5 mg/kg de Níquel.

3. Integrado de nuevo por las estación **E9,** y las estaciones **E6, E1, E11** y **E5** localizadas a 5,5, 14,8, 8,2, 21,0 y 10,9 Km de la Central Térmica respectivamente; cuyos valores medios de concentración van de 35,5 a 55,6 mg/kg de Níquel.

4. Integrado de nuevo por las estaciones **E6, E1, E11** y **E5** y además por la estaciones **E3** y **E12** localizadas a 14,8, 8,2, 21,0, 10,9, 14,0 y 17,0 Km de la Central Térmica respectivamente; cuyos valores medios de concentración van de 51,3 a 73,9 mg/kg de Níquel.

En la Figura 49, se muestra la distribución espacial del contenido medio de Níquel bioacumulado durante el período 2005-2013, **atendiendo a la orografía del terreno y curvas de nivel**. Se observa un gradiente mayor en frente nordeste del área de las estaciones a estudio.

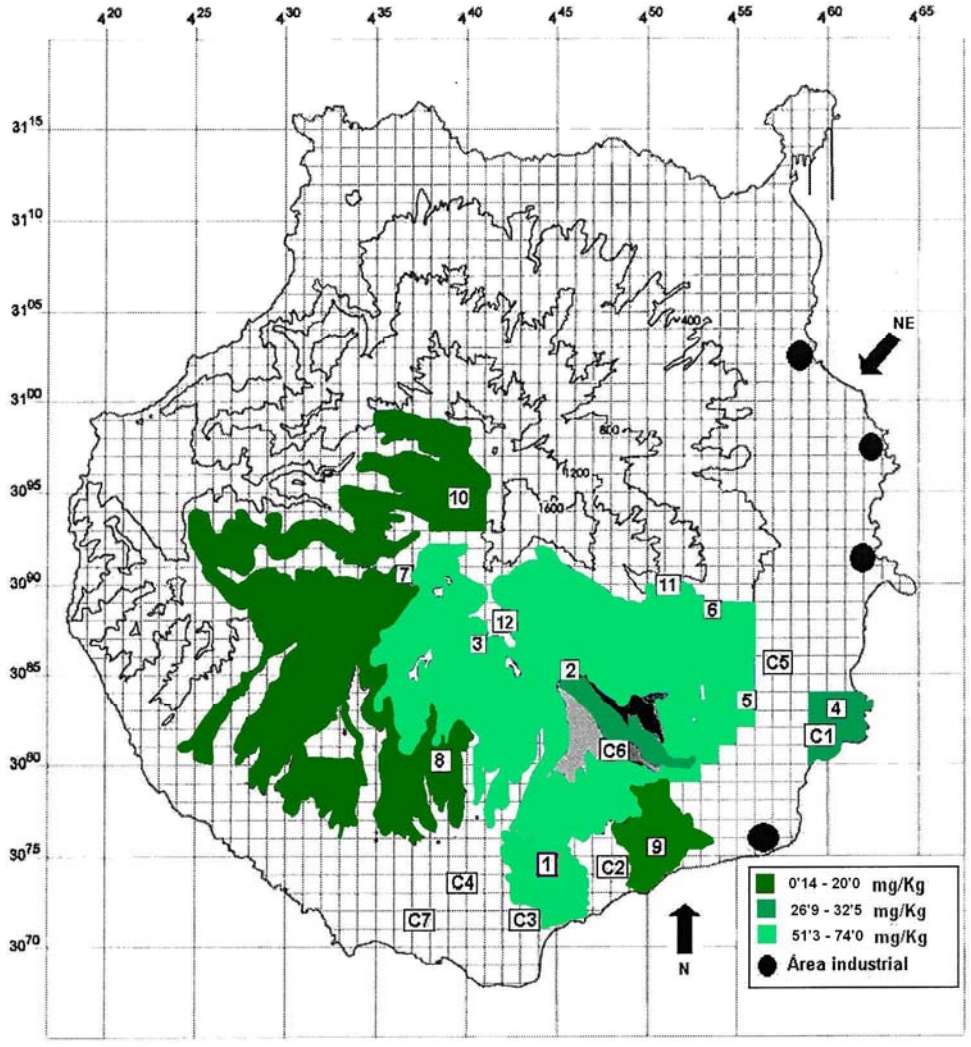


Figura 49. Mapa de Distribución de Níquel.

6.4.11. Plomo.

6.4.11.1. Distribución de los valores medios de concentración.

En la siguiente tabla se muestran los datos de partida de los periodos de 2005, 2006, 2007, 2008, 2010 y 2013. En cada estación se representan las medias de los valores obtenidos durante cada uno de los seis años, y además, el valor medio correspondiente para cada una de las estaciones, expresadas en unidades de mg/kg (ppm).

Estación	Localización	Altitud	Valores medios de Plomo (mg/kg)						
		(m)	2005	2006	2007	2008	2010	2013	Promedio
E9	Aldea Blanca	**160**	16,936	16,038	15,784			14,340	**15,775**
E1	Pico Tabaibas	**519**	9,435	8,902	8,829	5,890	6,750	6,520	**7,732**
E4	Ma. Arinaga	**199**	9,693	8,657	5,207	6,030	10,127	8,650	**8,172**
E2	Ma. Carboneras	**512**	4,156	5,274	6,111		5,926	4,870	**7,267**
E5	Ma. Agüimes	**352**	3,631	6,721	7,856	3,350	10,795	3,641	**5,999**
E3	Santa Lucía	**843**	3,493	4,879	3,518		5,293	7,850	**5,007**
E6	Ingenio-Pasadilla	**634**	10,050	11,612	19,849		10,155	8,650	**12,063**
E8	Gitagana	**350**	9,594	8,876	8,404			8,320	**8,799**
E12	Temisas	**850**	7,992	8,452	6,085	4,734	6,906	6,532	**6,784**
E7	Cruz Grande	**1.240**	20,618	15,404	10,852		16,179	18,350	**16,281**
E11	Ingenio- Cazadores	**900**	11,188	12,765	11,949	6,510	15,195	23,260	**13,978**
E10	Pico de las Nieves	**1.700**	8,641	5,812	3,905	2,596	4,290	3,950	**4,866**
	No se dispone de resultados								

Tabla 53 . Concentración de Plomo

En la Figura 50, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestro) de todos los años a estudio. En ella se representa: en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a su distancia a la Central Térmica** (la estación E9 es la más cercana y la E10 es la más alejada) y en el eje de ordenadas la concentración media de Plomo expresada en unidades de mg/kg.

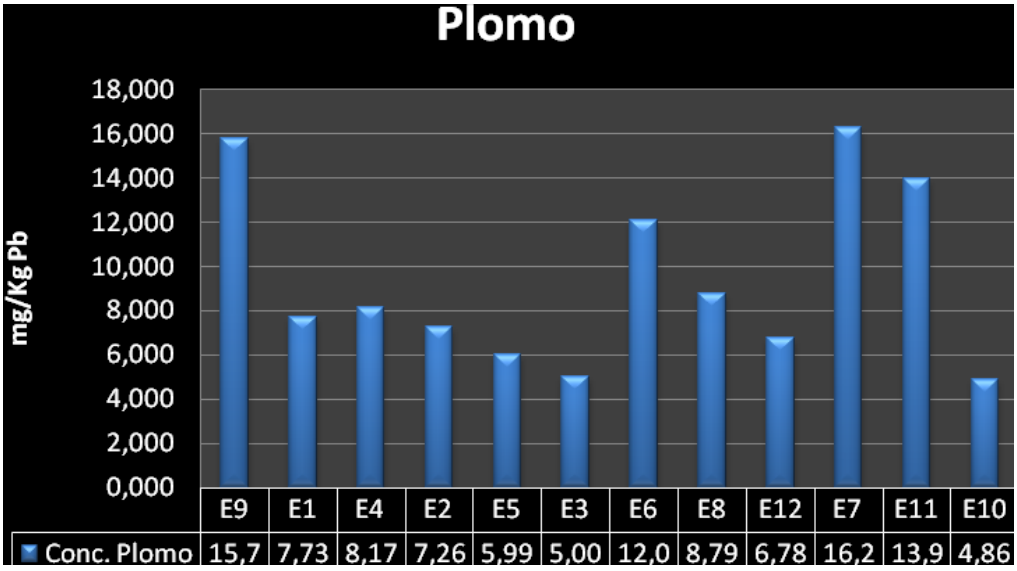


Figura 50. Concentración Promedio Plomo en relación con la Distancia a la Central

En la representación gráfica se aprecia la existencia de valores más o menos diferentes en cada una de las estaciones, con un valor máximo de 15,7 mg /Kg en la Estación 9 **(E9**) y un valor mínimo de 5,0 mg/kg en la Estación 3 (**E3**).

En la Figura 51, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestreo) de todos los años a estudio. En ella se representa en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a la altura a la que están localizadas** (la estación E9 es la más baja y la E10 es la más alta), y en el eje de ordenadas la concentración media de Pomo expresada en unidades de mg/kg.

Tomando en cuenta este criterio, se observa una distribución más o menos diferente de los valores medios de concentración de Plomo, con un valor máximo en la estación más baja, **E9** (15,7mg/kg) con una altura de 160 m, y como valor mínimo en la estación **E3** (5,0 mg/kg), con una altura de 843 m.

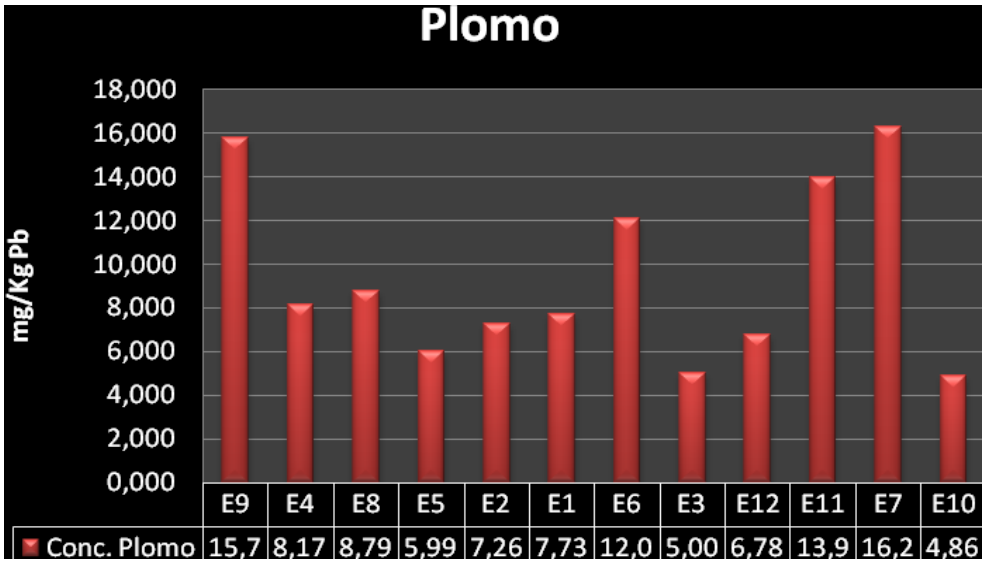


Figura 51. Concentración Promedio Plomo en relación con la Altura de la Estación

6.4.11.2. Comparación de los valores medios de concentración.

Con objeto de evaluar estadísticamente sí, las diferencias apreciadas, se pueden considerar como significativas y por lo tanto, poder afirmar la posible influencia de la localización en la concentración de Plomo en los líquenes, se ha aplicado el método de "Análisis de Varianza" (ANOVA) al conjunto de todos los valores muestrales obtenidos, dando como resultado la siguiente tabla.

ANOVA de un factor

mg/kg de Pb

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	937,204	11	85,200	8,151	,000
Intra-grupos	543,520	52	10,452		
Total	1480,724	63			

Tabla 54. ANOVA (Plomo)

Se pone de manifiesto que a un Nivel de significación = 0,000 existen diferencias entre los valores medios de concentración en todos los años a estudio, en al menos, algunas de las estaciones.

Para determinar y agrupar aquellas localizaciones o estaciones que, dan lugar a niveles de concentración significativamente diferentes, se ha recurrido a los tests estadísticos de comparación múltiple, que proporciona el "Método Tukey HSD", adoptando coeficientes de confianza del 95%. Las conclusiones de su aplicación se resumen en la siguiente tabla.

mg/kg Plomo

HSD de Tukey

mg/kg de Pb

Tukey B

Kilómetros	Estación	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
23,30	E10	4,86567			
14,00	E3	5,00660			
10,90	E5	5,99900	5,99900		
17,00	E12	6,78350	6,78350		
8,80	E2	7,26740	7,26740		
8,20	E1	7,73150	7,73150	7,73150	
8,60	E4	8,17200	8,17200	8,17200	
15,30	E8	8,79850	8,79850	8,79850	
14,80	E6		12,06320	12,06320	12,06320
21,00	E11			13,97783	13,97783
5,50	E9				15,77450
21,01	E7				16,28060

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,217.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 55. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Distancia-Pb)

mg/kg de Pb

Tukey B

Metros	Estación	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
1700	E10	4,86567			
843	E3	5,00660			
352	E5	5,99900	5,99900		
850	E12	6,78350	6,78350		
512	E2	7,26740	7,26740		
519	E1	7,73150	7,73150	7,73150	
199	E4	8,17200	8,17200	8,17200	
350	E8	8,79850	8,79850	8,79850	
634	E6		12,06320	12,06320	12,06320
900	E11			13,97783	13,97783
160	E9				15,77450
1240	E7				16,28060

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,217.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 56. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Altura- Pb)

En la tabla anterior se puede apreciar la existencia de 4 (cuatro) grupos significativamente diferentes, y por lo tanto, también 4 (cuatro) grupos homogéneos:

1. Integrado por las estaciones **E10**, **E3, E5, E12, E2, E1, E4** y **E8**, ubicadas a 23,3, 14,0, 10,9, 17,0, 8,8, 8,2, 8,6 y 15,3 Km de la Central Térmica respectivamente, cuyas valores de concentración promedio van de 4,9 a 8,8 mg/kg de Plomo.

2. Integrado de nuevo por las estaciones **E5, E12, E2, E1, E4, E8** y además por la estación **E6** ubicadas a 10,9, 17,0, 8,8, 8,2, 8,6, 15,3 y 14,8 Km de la Central Térmica respectivamente, cuyas valores de concentración promedio van de 6,0 a 12,1 mg/kg de Plomo.

3. Integrado de nuevo por las estaciones **E1, E4, E8**, **E6** y además por la estación **E11** ubicadas a 8,2, 8,6, 15,3, 14,8 y 21,0 Km de la Central Térmica respectivamente, cuyas valores de concentración promedio van de 7,7 a 14,0 mg/kg de Plomo.

4. Integrado de nuevo por las estaciones **E6** y **E11** y además por las estaciones **E9** y **E7** ubicadas a 14,8, 21,0, 5,5 y 21,01 Km de la Central Térmica respectivamente, cuyas valores de concentración promedio van de 12,1 a 16,3 mg/kg de Plomo.

En la Figura 52, se muestra la distribución espacial del contenido medio de Plomo bioacumulado durante el período 2005-2013, **atendiendo a la orografía del terreno y curvas de nivel**. Se observa un gradiente mayor en frente nordeste del área de las estaciones a estudio.

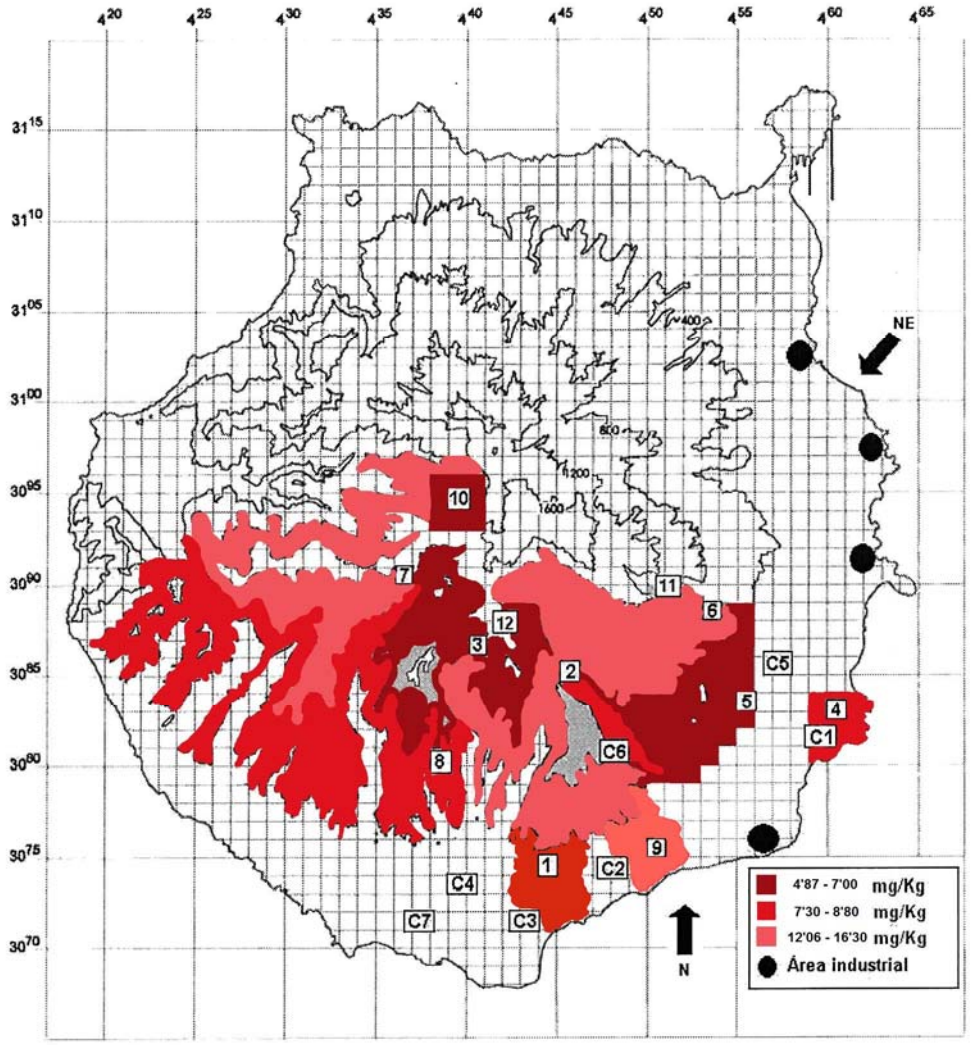


Figura 52. Mapa de Distribución de Plomo

6.4.12. Vanadio.

6.4.12.1. Distribución de los valores medios de concentración:

En la siguiente tabla se detallan los datos de partida de los periodos de 2005, 2006, 2007, 2008, 2010 y 2013. En cada estación se representan las medias de los valores obtenidos en cada uno de los seis años, así como el valor medio correspondiente para cada una de las estaciones, expresadas en unidades de mg/kg (ppm).

Estación	Localización	Altitud	Valores medios de Vanadio (mg/kg)						
		(m)	2005	2006	2007	2008	2010	2013	Promedio
E9	Aldea Blanca	**160**	31,310	31,330	31,332			30,8	**31,193**
E1	Pico Tabaibas	**519**	57,630	57,850	57,953	38,130	31,074	28,7	**45,223**
E4	Ma. Arinaga	**199**	43,210	43,220	43,221	36,413	26,870	24,5	**38,587**
E2	Ma. Carboneras	**512**	33,910	33,940	33,942		20,080	18,7	**27,512**
E5	Ma. Agüimes	**352**	51,100	51,130	51,131	28,133	28,465	28,3	**39,710**
E3	Santa Lucía	**843**	69,750	69,760	69,762		28,637	21,2	**51,822**
E6	Ingenio-Pasadilla	**634**	83,130	83,150	83,152		32,873	31,8	**62,821**
E8	Gitagana	**350**	23,910	24,000	24,120			20,4	**22,358**
E12	Temisas	**850**	33,727	33,960	33,963	14,411	39,502	17,4	**28,827**
E7	Cruz Grande	**1.240**	32,030	32,050	32,051		54,681	24,5	**35,062**
E11	Ingenio- Cazadores	**900**	82,978	83,160	83,162	62,661	63,659	57,6	**72,203**
E10	Pico de las Nieves	**1.700**	41,400	41,420	41,423	26,804	27,450	23,4	**33,650**
	No se dispone de resultados								

Tabla 57. Concentración de Vanadio

En la Figura 53, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestreo) de todos los años a estudio. En ella se representa en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a su distancia a la Central Térmica** (la estación E9 es la más cercana y la E10 es la más alejada); y en el eje de ordenadas la concentración media de vanadio expresada en unidades de mg/kg.

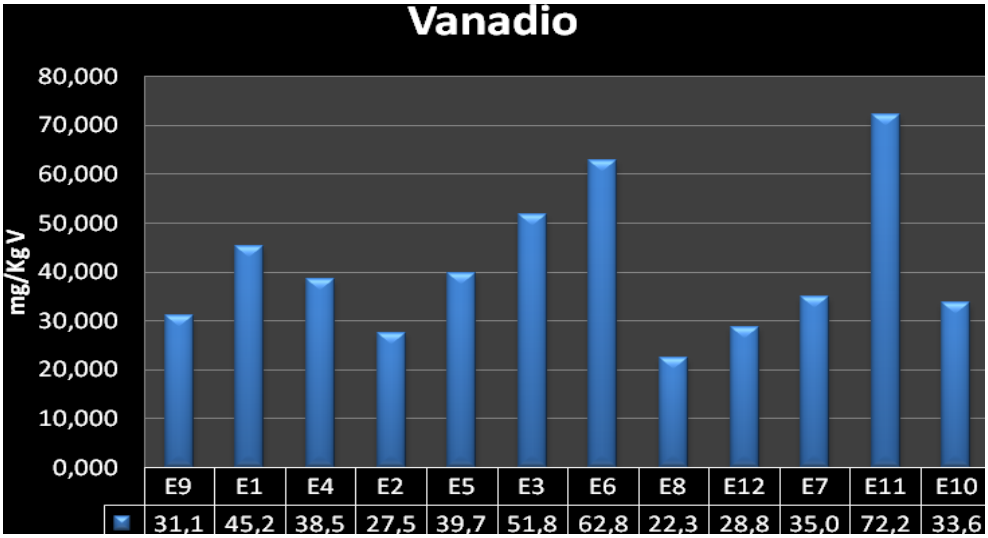


Figura 53. Concentración Promedio Vanadio en relación con la Distancia a la Central

En la representación gráfica se aprecia la existencia de valores más o menos diferentes para cada una de las estaciones, con una tendencia clara de crecimiento a partir de la estación **E5**, que con un valor medio de 39,7 mg/kg, llegando a un valor máximo de 72,2 mg/kg, que coincide con el correspondiente a la estación **E11**.

En la Figura 54, se representan de forma gráfica los valores medios para cada localización (Estación de muestreo) de todos los años a estudio. En ella se representa en el eje de las abscisas las 12 estaciones de muestreo, **ordenadas atendiendo a la altura a la que están localizadas** (la estación E9 es la más baja y la E10 es la más alta), y en el eje de ordenadas la concentración media de Vanadio expresada en unidades de mg/kg.

Tomando en cuenta este criterio, se observa una distribución más o menos diferente de los valores medios de concentración de Vanadio, con un valor máximo en la estación **E11** (72,2 mg/kg) con una altura de 900 m, y como valor mínimo en la estación **E8** (24,0 mg/kg), con una altura de 350 m.

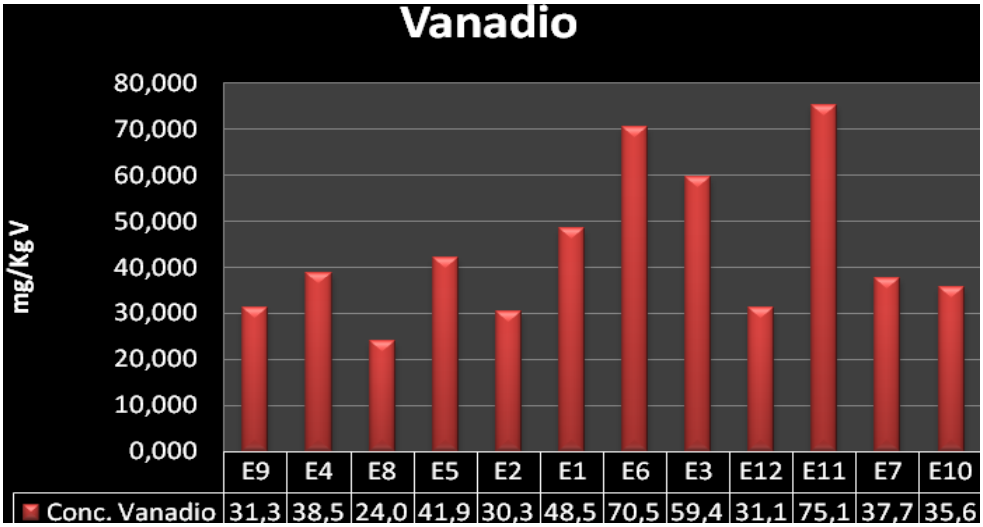


Figura 54. Concentración Promedio Vanadio en relación a la Altura de la Estación

6.4.12.2. Comparación de los valores medios de concentración.

Con objeto de evaluar estadísticamente sí, las diferencia apreciadas, se pueden considerar como significativas y por lo tanto, poder afirmar la posible influencia de la localización en la concentración bioacumulada en los líquenes, se ha aplicado el método de "Análisis de Varianza" (ANOVA) al conjunto de todos los valores muestrales obtenidos, dando como resultado la siguiente tabla:

ANOVA de un factor

mg/kg de V

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	13207,038	11	1200,640	6,269	,000
Intra-grupos	9959,672	52	191,532		
Total	23166,711	63			

Tabla 58. ANOVA (Vanadio)

Se pone de manifiesto que a un Nivel de significación = 0,000 existen diferencias entre los valores medios de concentración en todos los años a estudio, en al menos, algunas de las estaciones.

Para determinar y agrupar aquellas localizaciones o estaciones que, dan lugar a niveles de concentración significativamente diferentes, se ha recurrido a los tests estadísticos de comparación múltiple, que proporciona el "Método Tukey HSD", adoptando coeficientes de confianza del 95%. Las conclusiones de su aplicación se resumen en la siguiente tabla.

mg/kg V

HSD de Tukey

mg/kg de V

Tukey B

Kilómetros	Estación	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
15,30	E8	22,35750			
8,80	E2	27,51200	27,51200		
17,00	E12	28,82717	28,82717		
5,50	E9	31,19300	31,19300		
23,30	E10	33,64950	33,64950		
21,01	E7	35,06240	35,06240		
8,60	E4	38,58680	38,58680	38,58680	
10,90	E5	39,70983	39,70983	39,70983	
8,20	E1	45,22283	45,22283	45,22283	
14,00	E3		51,82180	51,82180	51,82180
14,80	E6			62,82100	62,82100
21,00	E11				72,20333

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,217.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 59. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Distancia-V)

mg/kg de V

Tukey B

Metros	Estación	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
350	E8	22,35750			
512	E2	28,11440	28,11440		
850	E12	28,82717	28,82717		
160	E9	31,19300	31,19300		
1700	E10	33,64950	33,64950		
1240	E7	35,06240	35,06240		
199	E4	36,23900	36,23900	36,23900	
352	E5	39,70983	39,70983	39,70983	
519	E1	45,22283	45,22283	45,22283	
843	E3		51,82180	51,82180	51,82180
634	E6			62,82100	62,82100
900	E11				72,20333

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,217.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Tabla 60. Valores medios de subconjuntos de estaciones homogéneas (Factor Altura-V)

En la Tabla anterior, se puede apreciar la existencia de 4 (cuatro) grupos significativamente diferentes, existiendo también la existencia de 4 (cuatro) grupos homogéneos.

1. Integrado por las estaciones **E8, E2, E12, E9, E10, E7, E4, E5** y **E1** a 15,3, 8,8, 17,0, 5,5, 23,3, 21,0, 8,6, 10,9 y 8,2 Km de la Central Térmica respectivamente; cuyos valores medios de concentración van de 22,4 a 45,2 mg/kg de Vanadio.

2. Integrado de nuevo por las estaciones **E2, E12, E9, E10, E7, E4, E5, E1** y además por la **E3** a 8,8, 17,0, 5,5, 23,3, 21,0, 8,6, 10,9, 8,2 y 14,0 Km de la Central Térmica respectivamente; cuyos valores medios de concentración van de 28,1 a 51,8 mg/kg de Vanadio.

3. Integrado de nuevo por las estaciones **E4, E5, E1** y **E3** y además por la **E6** a 8,6 10,9, 8,2, 14,0 y 14,8 Km de la Central Térmica respectivamente; cuyos valores medios de concentración van de 36,2 a 62,8 mg/kg de Vanadio.

4. Integrado de nuevo por las estaciones **E3, E6** y además por la **E11** a 14,0, 14,8 y 21,0 Km de la Central Térmica respectivamente; cuyos valores medios de concentración van de 51,8 a 72,2 mg/kg de Vanadio.

En la Figura 55, se muestra la distribución espacial del contenido medio de Vanadio bioacumulado durante el período 2005-2013, **atendiendo a la orografía del terreno y curvas de nive**l. Se observa un gradiente mayor en frente nordeste del área de las estaciones a estudio.

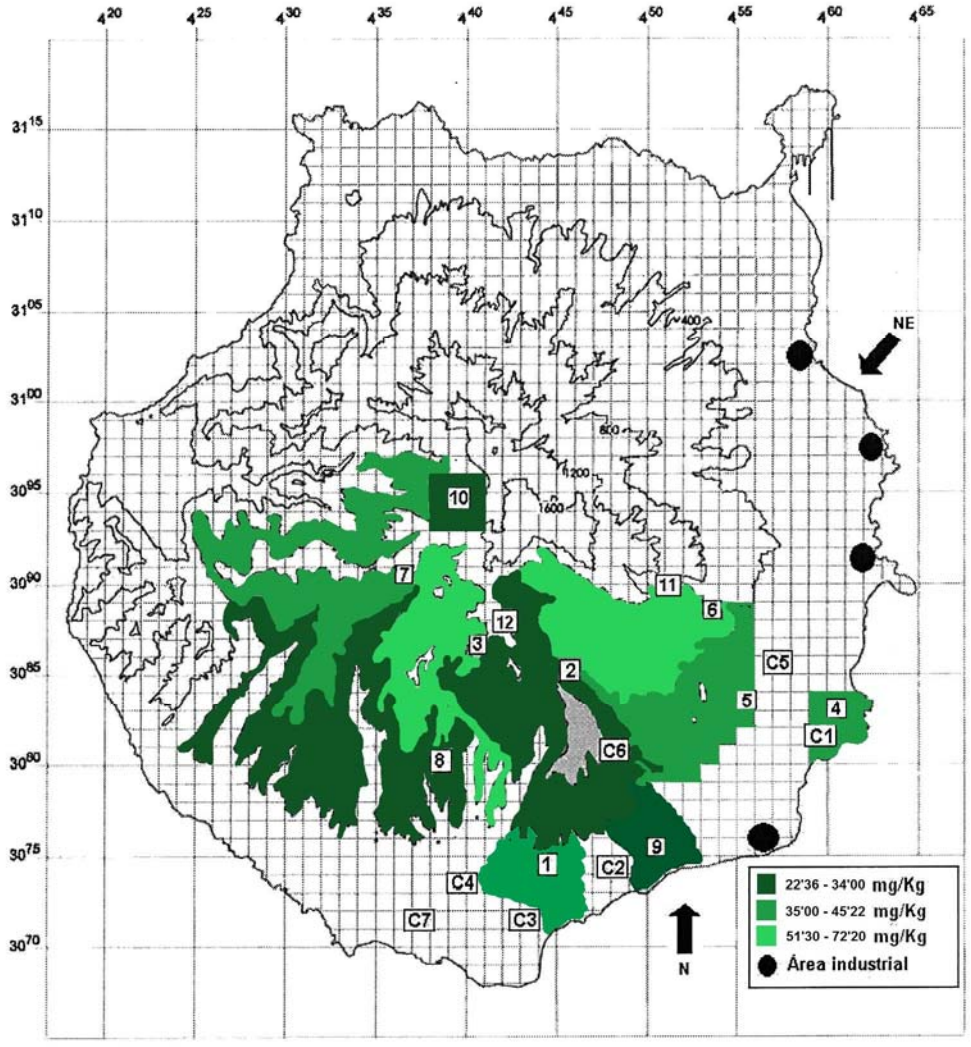


Figura 55. Mapa de Distribución de Vanadio.

6.4.13. HAP´s, Pesticidas Organoclorados, Pesticidas Organofosforados y PCB´s.

Cómo se ha menciondado en capítulos anteriores, en los últimos años ha tomado vital importancia el estudio y análisis de los contaminantes orgánicos que se puedan encontrar en el ambiente, principalmente los HAP´s, los PCB´s y los pesticidas, productos de la actividad industrial humana, que son especialmente, tóxicos para la reproducciòn, carcinógenos, mutagénicos, teratogénicos, neurotóxicos y con capacidades inmunorepresoras; y por lo tanto, representan una amenaza a la salud humana que debe ser vigilada y controlada por sus respectivas legislaciones. [47].

Paradójicamente, las propiedades tóxicas de estas sustancias no resultan de su composición química, si no de su estructura, cuyo número de modificaciones estructurales excede de los dos millones. De las sustancias anteriormente mencionadas, los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP´s) y sus derivados halogenados son los compuestos más peligrosos para los organismos vivos. Los hidrocarburos poseen propiedades lipofílicas y por tanto, tienden a acumularse en los organismos vivos. Por ejemplo, la biomagnificación de los bifenilos policlorinados (PCB´s) en un gradiente de cinco en la cadena trófica, puede presentarse en un factor de 49.600. . La mayoría de los compuestos orgánicos especialmente los derivados halogenados, no se biodegradan con rapidez y permanecen en el medio ambiente por largos periodos de tiempo. Ésta es la razón principal por la que dichos compuestos encontrados en suelos, corrientes de agua lagos, sedimentos marinos, plantas y animales se encuentre en crecimiento continuo. [181],[197],[201].

Las normativas Españolas referidas a este tipo de contaminantes son: La Ley de Calidad del Aire y Protección de la atmósfera; Ley 34/2007; *Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire; (relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente y sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los*

hidrocarburos aromáticos policíclicos Real Decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos
fitosanitarios(Pesticidas); El Real Decreto 1378/1999 que obliga a la Prohibición de la producción y comercialización de PCB, Establecida por la Directiva 76/403 y la Directiva 76/769 y la Prohibición total de la utilización de PCB.Establecida por la Directiva 85/467.

Dichas normativas están basadas en la uitlización de muestreo de volumenes de aire, mediante captadores de aire, son orientativas y no aplicables directamente a los resultados encontrados mediante bioindicación y bioacumulación. [46].

Durante la realización de este proyecto de tesis, basado en la continua revisión bibliográfica, se decidió aumentar el alcance que, incialmente estaba previsto para determinación de Nitrógeno, Azufre, Clorofila, Feofitina, Metales Pesados y Análisis Fotográfico a la determinación de Contaminantes Orgánicos, ya que se encontraron pocos trabajos de este tipo que utilizaran líquenes para la bioindicación de los mismos. En base a este criterio, (y cómo se describió en la parte de material y equipo utilizado) se decidió utilizar un procedimiento modificado en el laboratorio de Cafma, basado en procedimientos ya probados para la extracción y determinación por Cromotografía de gases, aplicarlo para los liquenes encontrados en nuestras Estaciones de Muestreo. [26].

Se recomienda seguir esta linea de investigación, con el fin de obtener una mayor cantidad de resultados, con el fin de realizar un mapa de contaminación atmosférica que describa la distribución de dichos contaminantes. Además de ser un tema de investigación muy actual y necesaria, ya que hay pocos trabajos de determinación de concentración de HAP´S y Pesticidas en muestras liquénicas en España; por lo que, es muy importante el desarrollar y estandarizar procedimientos para profundizar en esta parte de Bioindicación en las Islas Canarias. [25].

A continuación, se muestran las concentraciones obtenidas en los líquenes de los contaminantes atmosféricos anteriormente mencionados, durante los muestreos

realizados durante los años 2005-2010, ordenados por Número de Estación, y expresados en ng/Kg (ppb). En el año 2013 no se realizaron análisis de estos contaminantes.

Estación 1 "Pico Tabaibas"	HAP´s y PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
HAP´s					
Benzo(a)antraceno	n.a.	n.a.	trazas	trazas	6,119
Fluoreno	n.a.	n.a.	8,478	n.d.	n.d.
Fenantreno	n.a.	n.a.	22,992	n.d.	5,199
Fluoranteno	n.a.	n.a.	n.d.	n.d.	0,492
Pireno	n.a.	n.a.	n.d.	n.d.	6,411
Pesticidas Organofosforados					
	No detectables en ninguna muestra				

Nota: n.a. = no analizado; n.d. = no detectable

Estación 1 "Pico Tabaibas"	PCB´s y PESTICIDAS ORGANOCLORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
PCB´s					
PCB 28 + PCB 31	n.a.	n.a.	88,486	trazas	n.d.
PCB 52	n.a.	n.a.	4,366	n.d.	n.d.
PCB 77	n.a.	n.a.	0,929	n.d.	n.d.
Pesticidas Organoclorados					
4,4´,DDD	n.a.	n.a.	trazas	n.d.	n.d.
4,4´,DDE	n.a.	n.a.	n.d.	trazas	n.d.
4,4´,DDT	n.a.	n.a.	26,066	n.d.	n.d.

Nota: n.a. = no analizado; n.d. = no detectable

Tabla 61 . Compuestos Orgánicos Estación Nº 1

Estación 2. "Montaña Carboneras"	HAP´s y PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
HAP´s					
Acenafteno	n.d.	n.d.	n.d.	n.a.	trazas
Antraceno	n.d.	n.d.	n.d.	n.a.	4,614
Benzo(a)antraceno	n.d.	n.d.	3,315	n.a.	n.d
Criseno	n.d.	n.d.	trazas	n.a.	n.d.
Fluoreno	2,851	13,304	trazas	n.a.	n.d
Fenantreno	6,751	26,785	n.d.	n.a.	7,155
Fluoranteno	n.d.	n.d.	n.d.	n.a.	trazas
Naftaleno	0,451	75,078	n.d.	n.a.	n.d
Pireno	n.d.	n.d.	n.d.	n.a.	0,654
Pesticidas Organofosforados	No detectables en nunguna muestra				

Nota: n.a. = no analizado; n.d. = no detectable

Estación 2 "Montaña Carboneras"	PCB´s y PESTICIDAS ORGANOCLORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
PCB´s					
PCB 28 + PCB 31	n.d.	n.d.	0,191	n.a.	n.d.
PCB 77	n.d.	n.d.	0,479	n.a.	n.d.
PCB 180	1,254	n.d	n.d.	n.a.	n.d.
Pesticidas Organoclorados					
4,4´,DDD	n.d.	trazas	trazas	n.a.	n.d.
4,4´,DDE	0,256	n.d.	trazas	n.a.	n.d.

Nota: n.a. = no analizado; n.d. = no detectable

Tabla 62. Compuestos Orgánicos Estación Nº 2

Estación 3. "Santa Lucía"	HAP´s y PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
HAP´s					
Benzo(a)antraceno	n.d.	n.d.	n.d.	n.a.	5,995
Criseno	n.d.	n.d.	trazas	n.a.	n.d.
Fluoreno	13,479	7,863	trazas	n.a.	n.d.
Fenantreno	23,965	28,279	trazas	n.a.	4,655
Fluoranteno	n.d.	n.d.	n.d.	n.a.	0,447
Naftaleno	13,034	13,568	n.d.	n.a.	n.d.
Pireno	n.d.	n.d.	n.d.	n.a.	0,691
Pesticidas Organofosforados					
	No detectables en ninguna muestra.				

Estación 3 "Santa Lucía"	PCB´s y PESTICIDAS ORGANOCLORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
PCB´s					
PCB 28 + PCB 31	n.d.	n.d.	0,357	n.a.	n.d.
Pesticidas Organoclorados					
4,4´,DDE	1,341	n.d.	n.d.	n.a.	n.d.

Nota: n.a. = no analizado; n.d. = no detectable

Tabla 63 . Compuestos Orgánicos Estación Nº 3

Estación 4. "Montaña Arinaga"	HAP´s y PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
HAP´s					
Benzo(a)antraceno	n.a.	trazas	trazas	trazas	n.d.
Fluoreno	n.a.	0,984	trazas	n.d.	n.d.
Fenantreno	n.a.	4,685	3,592	trazas	4,309
Fluoranteno	n.a.	n.d.	n.d.	n.d.	0,312
Pireno	n.a.	n.d.	n.d.	n.d.	1,114
Pesticidas Organofosforados					
	No detectables en ninguna muestra.				

Nota: n.a. = no analizado; n.d. = no detectable

Estación 4 "Montaña Arinaga"	PCB´s y PESTICIDAS ORGANOCLORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
PCB´s					
PCB 28 + PCB 31	n.a.	trazas	n.d.	n.d.	n.d.
Pesticidas Organoclorados					
Cadusafos	n.a.	n.d.	trazas	n.d.	n.d.
4,4´,DDE	n.a.	n.d.	n.d.	trazas	n.d.

Nota: n.a. = no analizado; n.d. = no detectable

Tabla 64. Compuestos Orgánicos Estación Nº 4

Estación 5. "Montaña Agüimes"	HAP´s y PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
HAP´s					
Acenafteno	n.d.	n.d.	n.d.	1,539	n.d.
Benzo(a)antraceno	n.d.	n.d.	trazas	trazas	n.d.
Criseno	n,d.	n.d.	13,459	trazas	n.d.
Fluoreno	1,898	9,288	trazas	n.d	n.d.
Fenantreno	5,475	34,108	6,808	n.d	6,342
Fluoranteno	n.d.	13,169	n.d.	n.d	0,469
Naftaleno	trazas	13,549	n.d.	n.d	n.d.
Pireno	n.d.	n.d.	n.d.	n.d	3,374
Pesticidas Organofosforados					
	No detectables en ninguna muestra.				

Estación 5 "Montaña Agüimes"	PCB´s y PESTICIDAS ORGANOCLORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
PCB´s					
PCB 28 + PCB 31	n.d.	n.d.	trazas	1,262	n.d.
PCB 101	n.d.	2,224	n.d.	n.d.	n.d.
PCB 180	n.d.	7,368	n.d.	n.d.	n.d.
Pesticidas Organoclorados					
4,4´,DDD	n.d.	n.d.	trazas	n.d.	n.d.
4,4´,DDE	0,771	n.d.	n.d.	trazas	n.d.

Nota: n.d. = no detectable

Tabla 65 . Compuestos Orgánicos Estación Nº 5

Estación 6. "Ingenio-Pasadilla"	HAP´s y PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
HAP´s					
Acenafteno	n.d.	n.d.	n.d	n.a.	trazas
Antraceno	n.d.	n.d.	n.d	n.a.	2,775
Benzo(a)antraceno	n.d.	n.d.	trazas	n.a.	n.d.
Fluoreno	7,443	34,067	n.d	n.a.	n.d.
Fenantreno	21,897	123,737	2,866	n.a.	8,373
Fluoranteno	n.d.	46,261	n.d	n.a.	trazas
Naftaleno	7,995	15,725	n.d	n.a.	n.d.
Pireno	n.d.	n.d.	n.d	n.a.	1,714
Pesticidas Organofosforados					
	No detectables en ninguna muestra.				

Nota: n.a. = no analizado; n.d. = no detectable

Estación 6 "Ingenio-Pasadilla"	PCB´s y PESTICIDAS ORGANOCLORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
PCB´s					
	No detectables en todas las muestras				
Pesticidas Organoclorados					
	No detectables en todas las muestras				

Tabla 66. Compuestos Orgánicos Estación Nº 6

Estación 7. "Cruz Grande"	HAP´s y PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
HAP´s					
Fluoreno	1,855	11,401	n.a.	n.a	n.d.
Fenantreno	4,448	30,683	n.a.	n.a	11,309
Fluoranteno	n.d.	5,896	n.a.	n.a	1,697
Naftaleno	trazas	20,717	n.a.	n.a	n.d.
Pireno	n.d.	n.d.	n.a.	n.a	14,906
Pesticidas Organofosforados					
	No detectables en ninguna muestra.				

Nota: n.a. = no analizado; n.d. = no detectable

Estación 7 "Cruz Grande"	PCB´s y PESTICIDAS ORGANOCLORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
PCB´s					
PCB 180	n.d.	3,645	n.a.	n.a.	n.d.
Pesticidas Organoclorados					
Dieldrín	n.d.	13,785	n.a.	n.a.	n.d.
4,4´-DDD	n.d.	45,073	n.a.	n.a.	n.d.
4,4´,DDE	n.d.	44,545	n.a.	n.a.	n.d.
4,4´-DDT	n.d.	164,607	n.a.	n.a.	n.d.
α-endosulfano	n.d.	26,171	n.a.	n.a.	n.d.
β-endosulfano	n.d.	15,704	n.a.	n.a.	n.d.
Sulfato de endosulfano	n.d.	25,119	n.a.	n.a.	n.d.
α-HCH	n.d.	trazas	n.a.	n.a.	n.d.
β-HCH	n.d.	trazas	n.a.	n.a.	n.d.
γ-HCH	n.d.	6,976	n.a.	n.a.	n.d.

Nota: n.a. = no analizado; n.d. = no detectable

Tabla 67. Compuestos Orgánicos Estación Nº 7

Estación 8. "Gitagana"	HAP´s y PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
HAP´s	Muestra no disponible para análisis				
Pesticidas Organofosforados					

Estación 8 "Gitagana"	PCB´s y PESTICIDAS ORGANOCLORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
PCB´s	Muestra no disponible para el análisis				
Pesticidas Organoclorados					

Tabla 68. Compuestos Orgánicos Estación Nº 8

Estación 9. "Aldea Blanca"	HAP´s y PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
HAP´s					
Fluoreno	n.a.	n.a.	0,996	n.a.	n.a.
Fenantreno	n.a.	n.a.	10,714	n.a.	n.a.
Pesticidas Organofosforados					
	No detectables en ninguna muestra.				

Nota: n.a. = no analizado.

Estación 9 "Aldea Blanca"	PCB´s y PESTICIDAS ORGANOCLORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
PCB´s					
PCB 28 + PCB 31	n.a.	n.a.	trazas	n.a.	n.a.
Pesticidas Organoclorados				n.a.	n.a.
4,4´,DDD	n.a.	n.a.	trazas	n.a.	n.a.
4,4´,DDE	n.a.	n.a.	trazas	n.a.	n.a.
4,4´-DDT	n.a.	n.a.	46,017	n.a.	n.a.

Nota: n.a. = no analizado.

Tabla 69 . Compuestos Orgánicos Estación Nº 9

Estación 10. "Pico de las Nieves" **Parmelia**	**HAP´s y PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS** **ng/g**				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
HAP´s					
Benzo (a)antraceno	n.d.	n.d.	trazas	trazas	n.d.
Criseno	n.d.	n.d.	trazas	n.d.	n.d.
Fluoreno	3,772	8,187	12,607	n.d.	n.d.
Fenantreno	8,204	26,878	12,533	5,458	2,448
Fluoranteno	n.d.	12,569	n.d.	n.d.	trazas
Naftaleno	trazas	13,085	n.d.	n.d.	n.d.
Pireno	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,534
Pesticidas Organofosforados					
	No detectables en ninguna muestra.				

Nota: n.d. = no detectable

Estación 10 "Pico de las Nieves" **Parmelia**	**PCB´s y PESTICIDAS ORGANOCLORADOS** **ng/g**				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
PCB´s					
PCB 28 + 31	n.d.	n.d	trazas	trazas	n.d.
Pesticidas Organoclorados					
4,4´,DDE	n.d.	1,203	trazas	trazas	n.d.

Nota: n.d. = no detectable

Tabla 70. Compuestos Orgánicos Estación Nº 10 (*Parmelia*)

Estación 10. "Pico de las Nieves" **Lobaria**	**HAP´s y PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS** **ng/g**				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
HAP´s					
Fluoreno	672,861	2,262	3,562	0,431	n.d.
Fenantreno	167,604	9,106	3,293	4,482	3,169
Fluoranteno	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	trazas
Naftaleno	trazas	trazas	n.d.	9,792	n.d.
Pireno	883,439	n.d.	n.d.	n.d.	0,758
Pesticidas Organofosforados					
	No detectables en ninguna muestra.				

Nota: n.d. = no detectable

Estación 10 "Pico de las Nieves" **Lobaria**	**PCB´s y PESTICIDAS ORGANOCLORADOS** **ng/g**				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
PCB´s					
PCB 28 + 31	n.d.	n.d	trazas	trazas	n.d.
PCB 180	420,889	n.d	n.d.	n.d.	n.d.
Pesticidas Organoclorados					
4,4´,DDD	trazas	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
4,4´,DDE	n.d.	n.d.	n.d.	trazas	n.d.

Nota: n.d. = no detectable

Tabla 71. Compuestos Orgánicos Estación Nº 10 (*Lobaria*)

Estación 10. "Pico de las Nieves" **Usnea**	**HAP´s y PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS** **ng/g**				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
HAP´s					
Benzo(a)antraceno	10,647	n.d.	n.d.	trazas	n.d.
Criseno	n.d.	n.d.	trazas	n.d.	n.d.
Fluoreno	4,053	1,263	1,858	n.d.	n.d.
Fenantreno	15,668	4,579	6,924	21,929	2,538
Fluoranteno	n.d.	4,673	n.d.	n.d.	trazas
Naftaleno	trazas	trazas	n.d.	n.d.	n.d.
Pireno	6,444	2,639	n.d.	n.d.	n.d.
Pesticidas Organofosforados					
Ethión	n.d.	7,489	n.d.	n.d.	n.d.

Nota: n.d. = no detectable

Estación 10 "Pico de las Nieves" **Usnea**	**PCB´s y PESTICIDAS ORGANOCLORADOS** **ng/g**				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
PCB´s					
PCB 28 + 31	n.d.	n.d.	trazas	26,236	n.d.
Pesticidas Organoclorados					
4,4´,DDD	8,574	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
4,4´,DDE	trazas	n.d.	n.d.	trazas	n.d.
4,4´,DDE	42,413	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Sulfato de Endosulfano	25,296	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Nota: n.d. = no detectable

Tabla 72 . Compuestos Orgánicos Estación Nº 10, (*Usnea*)

Estación 11. "Ingenio-Cazadores"	HAP´s y PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
HAP´s					
Fluoreno	1,545	0,968	0,574	n.d.	n.d.
Fenantreno	4,954	6,251	4,881	trazas	4,063
Fluoranteno	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,249
Naftaleno	trazas	n.d.	0,936	trazas	n.d.
Pireno	n.d.	3,092	n.d.	n.d.	3,078
Pesticidas Organofosforados					
	No detectables en ninguna muestra.				

Nota: n.d. = no detectable

Estación 11 "Ingenio-Cazadores"	PCB´s y PESTICIDAS ORGANOCLORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
PCB´s					
PCB 28 + 31	n.d.	n.d.	trazas	n.d.	n.d.
Pesticidas Organoclorados					
4,4´,DDE	n.d.	n.d.	n.d.	trazas	n.d.

Nota: n.d. = no detectable

Tabla 73. Compuestos Orgánicos Estación Nº 11

Estación 12. "Temisas"	HAP´s y PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
HAP´s					
Benzo(a)antraceno	n.d.	n.d.	n.d.	trazas	n.d.
Fluoreno	n.d.	6,121	n.d.	n.d	n.d.
Fenantreno	2,364	3,775	n.d.	n.d	n.d.
Fluoranteno	7,342	7,629	7,595	trazas	2,891
Naftaleno	n.d.	n.d.	n.d.	n.d	trazas
Pireno	trazas	trazas	trazas	trazas	n.d.
Pesticidas Organofosforados	n.d.	n.d.	n.d.	n.d	0,416

Estación 12 "Temisas"	PCB´s y PESTICIDAS ORGANOCLORADOS ng/g				
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2010**
PCB´s					
PCB 28 + 31	n.d.	n.d.	trazas	n.d.	n.d.
PCB 101	0,981	1,229	n.d.	n.d.	n.d.
PCB 105	0,663	0,567	n.d.	n.d.	n.d.
PCB 118	n.d.	0,721	n.d.	n.d.	n.d.
PCB 138	1,616	1,766	n.d.	n.d.	n.d.
PCB 153	0,365	1,719	n.d.	n.d.	n.d.
PCB 156	n.d.	0,433	n.d.	n.d.	n.d.
PCB 180	1,667	2,498	n.d.	n.d.	n.d.
Pesticidas Organoclorados					
Dieldrín	n.d.	21,354	n.d.	n.d.	n.d.
4,4´-DDD	n.d.	58,874	n.d.	n.d.	n.d.
4,4´,DDE	0,357	44,058	trazas	trazas	n.d.
4,4´-DDT	14,196	184,821	n.d.	n.d.	n.d.
Endrín	n.d.	4,944	n.d.	n.d.	n.d.
α-Endosulfano	n.d.	1,979	n.d.	n.d.	n.d.
β-Endosulfano	n.d.	97,275	n.d.	n.d.	n.d.
Sulfato de endosulfano	n.d.	103,187	n.d.	n.d.	n.d.
α-HCH	n.d.	1,979	n.d.	n.d.	n.d.
β-HCH	n.d.	10,748	n.d.	n.d.	n.d.
γ-HCH	n.d.	9,469	n.d.	n.d.	n.d.
δ-HCH	n.d.	12,803	n.d.	n.d.	n.d.

Tabla 74 . Compuestos Orgánicos Estación Nº 12

6. 5. Discusión Final.

6. 5. 1. Aspectos a tomar en cuenta para la discusión final.

Como conclusiones del estudio detallado de los líquenes del área de estudio de la Central Térmica de Barranco de Tirajana, durante el período 2005-2013. El seguimiento fotográfico de los inventarios de las doce estaciones a estudio 2005, 2006, 2007, 2008 y 2010, y también del estudio químico respecto de los siguientes parámetros: azufre, nitrógeno, clorofila, feofitina, arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, vanadio, HAP¨s, Pesticidas Organoclorados, Pesticidas Organofosforados y PCB´s, en los años: 2005, 2006, 2007, 2008, 2010 y 2013; tomaremos en cuenta los siguientes aspectos:

6.5.1.1. Orografía.

Observando el área a estudio (ver Anexo: ortofotos OA1, OA 2, OA3 y OA4), se pueden apreciar las siguientes aspecto orográficos:

a) A la altura del Aeropuerto de Gando (ver ortofoto OA4), trazando una línea imaginaria de Este a Oeste en la isla de Gran Canaria, y tomando en cuenta la parte sur de la isla, observamos que existe un conjunto de montañas que se disponen a lo largo de la citada línea en las que destacamos: **Montaña Aguida (565 m), Montaña Herrero (601 m), Montaña de la Pasadilla (752 m), y Montaña La Tierras (1041 m).** Todas ellas se sitúan al Norte del Barranco de Guayadeque y forman una barrera para los vientos predominantemente de dirección noroeste (alisios).

b) Al Sur del Barranco de Guayadeque (ver ortofoto OA4), destacamos: **Montaña de Agüimes (357 m), Montaña Quemada (317 m), Roque Aguayro (538 m), Risco de la Cinta (781 m) y Mesa de las Burras (821 m).** Todas ellas forman un conjunto con los barrancos que delimitan distintas áreas orográficas de diversas características.

c) Los Llanos de Arinaga (ver ortofoto OA4) se ven flanqueados en su parte más alta por el Barranco de la Angostura, en el que se destacan: **Montaña las Carboneras (661 m)** y **La Fortaleza (566 m).**

d) Más al sur del Barranco de la Angostura (ver ortofoto OA4), se encuentran el **Macizo de Amurga (1131 m) y Pico Tabaibas (409 m).**

Todo este conjunto de montañas, barrancos y macizos, confieren al área de estudio diversos aspectos en cuánto a humedad, vientos, etc., que influyen directamente sobre la biología de los líquenes, así como a la dispersión de los contaminantes atmosféricos procedentes de distintos focos de contaminación.

6.5.1.2. Régimen de vientos.

Hay que considerar que, fundamentalmente los vientos predominantes son de dirección noroeste (alisios); si bien, en ocasiones, los vientos pasan a ser de componente sur-sureste. Estas direcciones de vientos, influyen sobre la dispersión de distintos contaminantes sobre las estaciones liquénicas. La orografía de la zona, conformará líneas de confluencia de los vientos de la misma; y por lo tanto, diferente dispersión de los contaminantes.

6.5.1.3. Distintos focos contaminantes.

El agrupar áreas de similar bioacumulación y tomar en cuenta la información obtenida del estudio conjunto del resto de variables: temperaturas, pluviometría, humedad relativa, etc. ayudan a determinar focos potencialmente contaminantes.

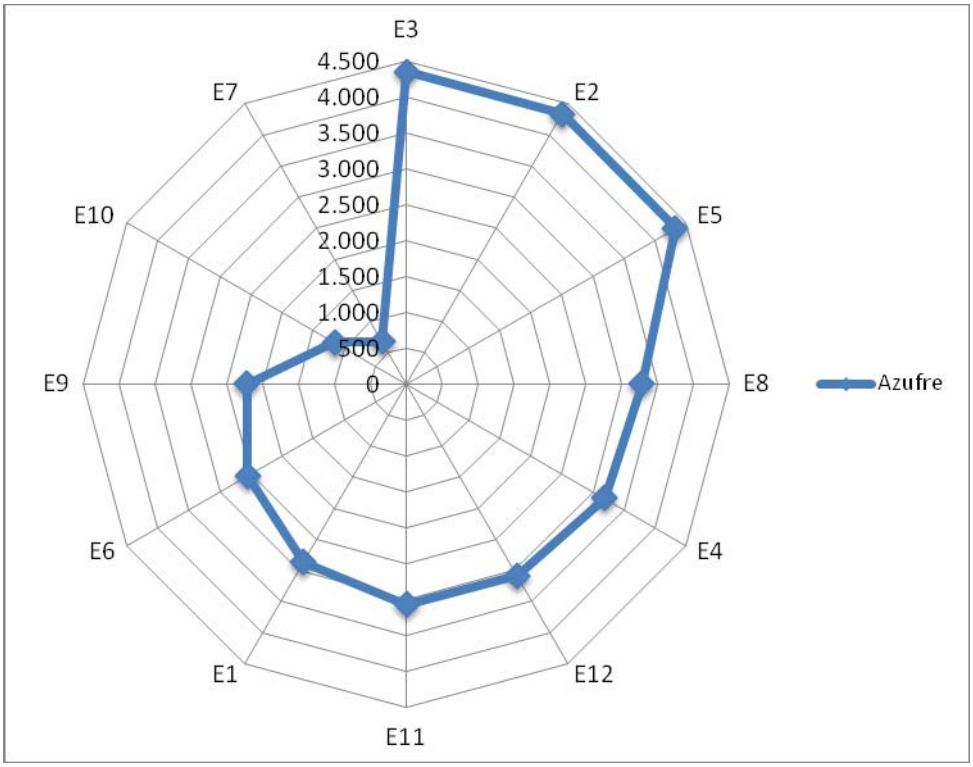
6.5.1.4. Bioacumulación de contaminantes atmosféricos.

Los estudios realizados en los años: 2005, 2006, 2007, 2008, 2010 y 2013, han ayudado a confeccionar unas “isolíneas o áreas” de bioacumulación de contaminantes atmosféricos con arreglo a focos contaminantes, dirección de vientos y orografía. Esto permite hacer un mapa de contaminación de la zona.

6.5.2. Distribución de Contaminantes.

A continuación se muestra la distribución de los distintos parámetros analizados:

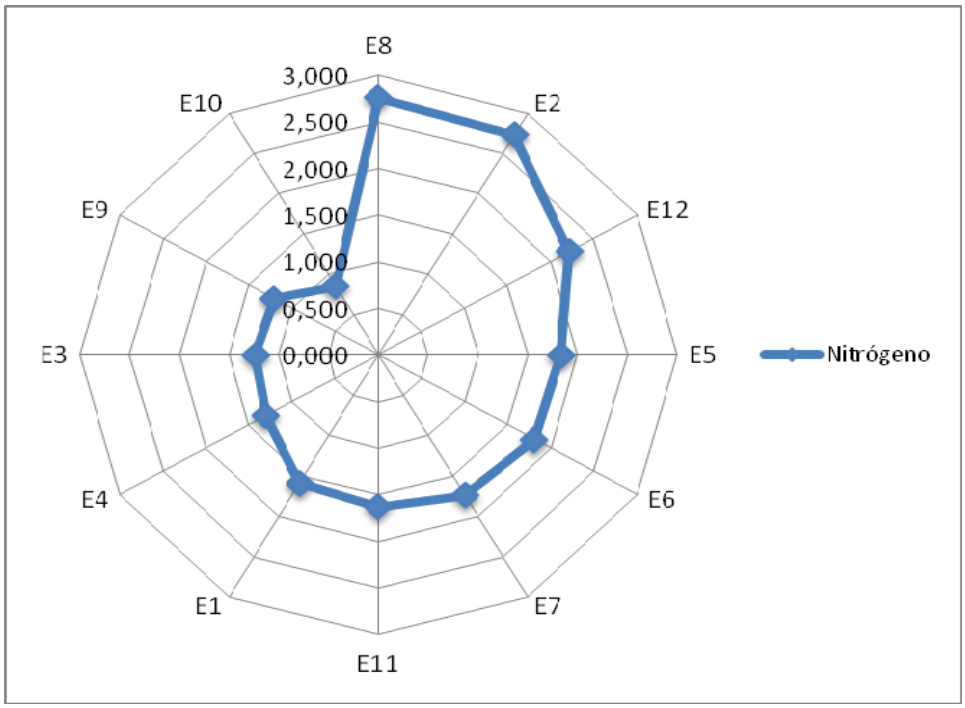
6.5.2.1. Azufre Bioacumulado.



Nota: Distribución de mayor a menor concentración en sentido de las agujas del reloj.

Nº.	Estaciones	Azufre (mg/kg)
3	Santa Lucía	4.340
2	Mª. Carboneras	4.335
5	Mª. Agüimes	4.324
8	Gitagana	3.277
4	Mª. Arinaga	3.185
12	Temisas	3.090
11	Ingenio-Cazadores	3.071
1	Pico Tabaibas	2.868
6	Ingenio-Pasadilla	2.556
9	Aldea Blanca	2.219
10	Pico las Nieves	1.157
7	Cruz Grande	680

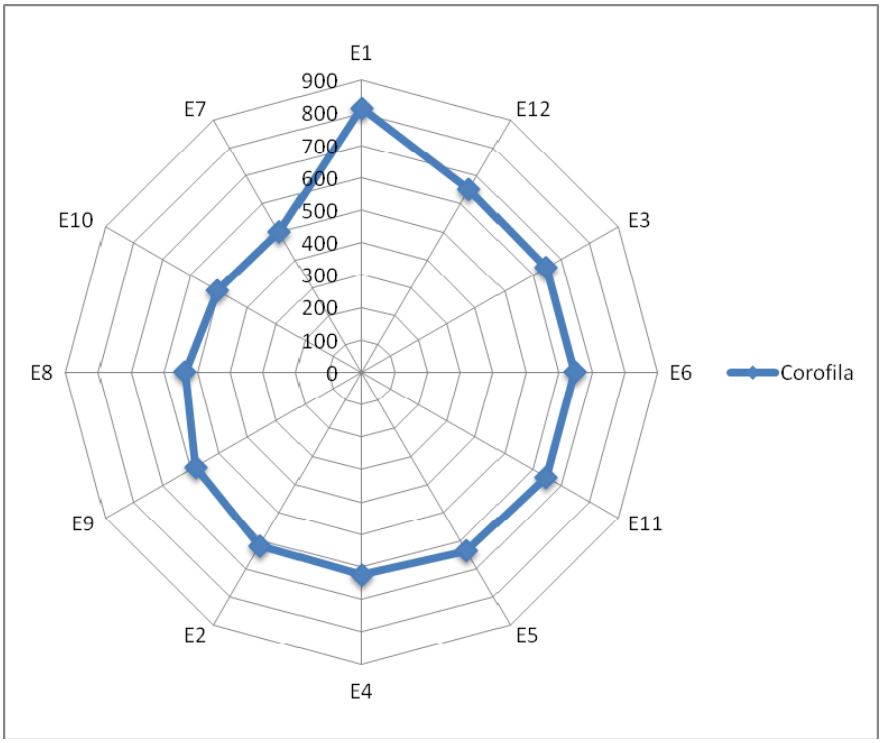
6.5.2.2. Nitrógeno Bioacumulado.



Nota: Distribución de mayor a menor concentración en sentido de las agujas del reloj.

Nº.	Estaciones	Nitrógeno (% Peso)
8	Gitagana	2,762
2	Mª Carboneras	2,729
12	Temisas	2,218
5	Mª Agüimes	1,837
6	Ingenio-Pasadilla	1,807
7	Cruz Grande	1,738
11	Ingenio-Cazadores	1,632
1	Pico Tabaibas	1,585
4	Mª Arinaga	1,306
3	Santa Lucía	1,230
9	Aldea Blanca	1,211
10	Pico de las Nieves	0,852

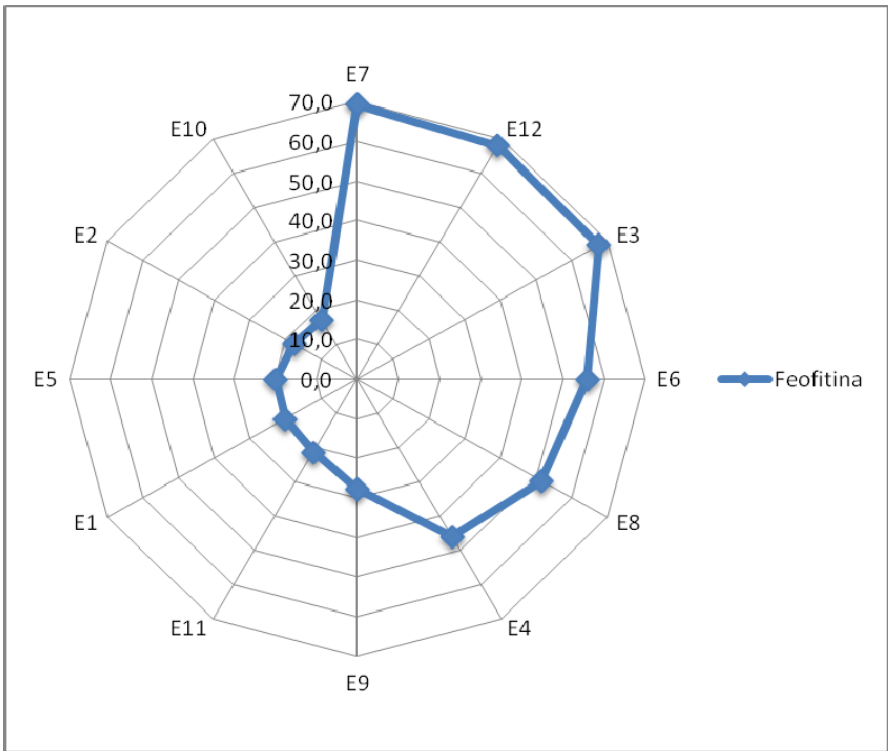
6.5.2.3. Clorofila.



Nota: Distribución de mayor a menor concentración en sentido de las agujas del reloj.

Nº.	Estaciones	Clorofila (mg/kg)
1	Pico Tabaibas	815
12	Temisas	651
3	Santa Lucía	646
6	Ingenio-Pasadilla	647
11	Ingenio-Cazadores	646
5	Mª. Agüimes	637
4	Mª. Arinaga	625
2	Mª. Carbomeras	618
9	Aldea Blanca	583
8	Gitagana	537
10	Pico de las Nieves	506
7	Cruz Grande	500

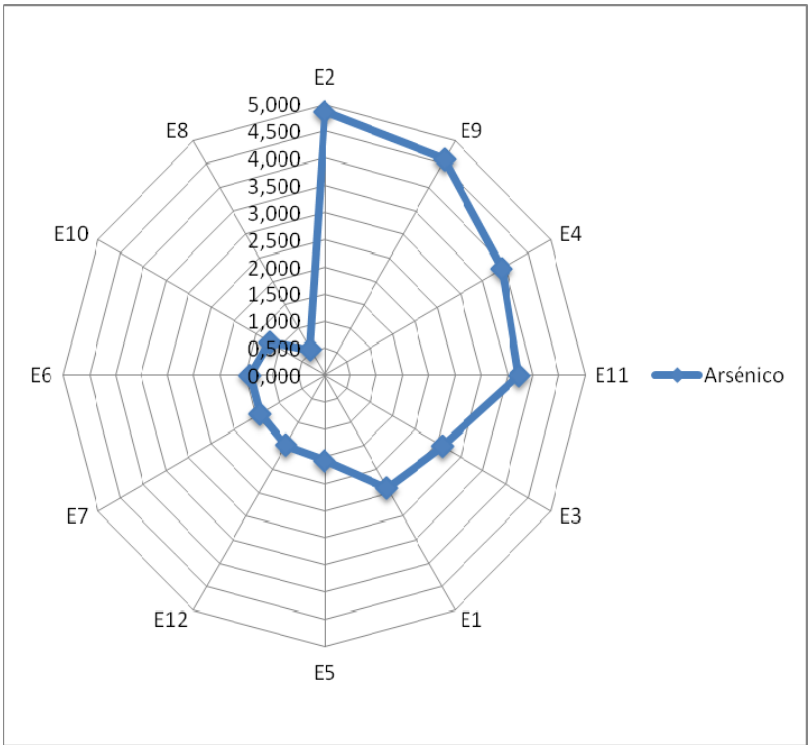
6.5.2.4. Feofitina.



Nota: Distribución de mayor a menor concentración en sentido de las agujas del reloj.

Nº.	Estaciones	Feofitina (mg/kg)
7	Cruz Grande	69,3
12	Temisas	68,1
3	Santa Lucía	67,7
6	Ingenio-Pasadilla	55,9
8	Gitagana	51,6
4	Mª Arinaga	46,1
9	Aldea Blanca	27,7
11	Ingenio-Cazadores	21,3
1	Pico Tabaibas	20,3
5	Mª Agüimes	19,9
2	Mª. Carboneras	17,7
10	Pico de las Nieves	17,3

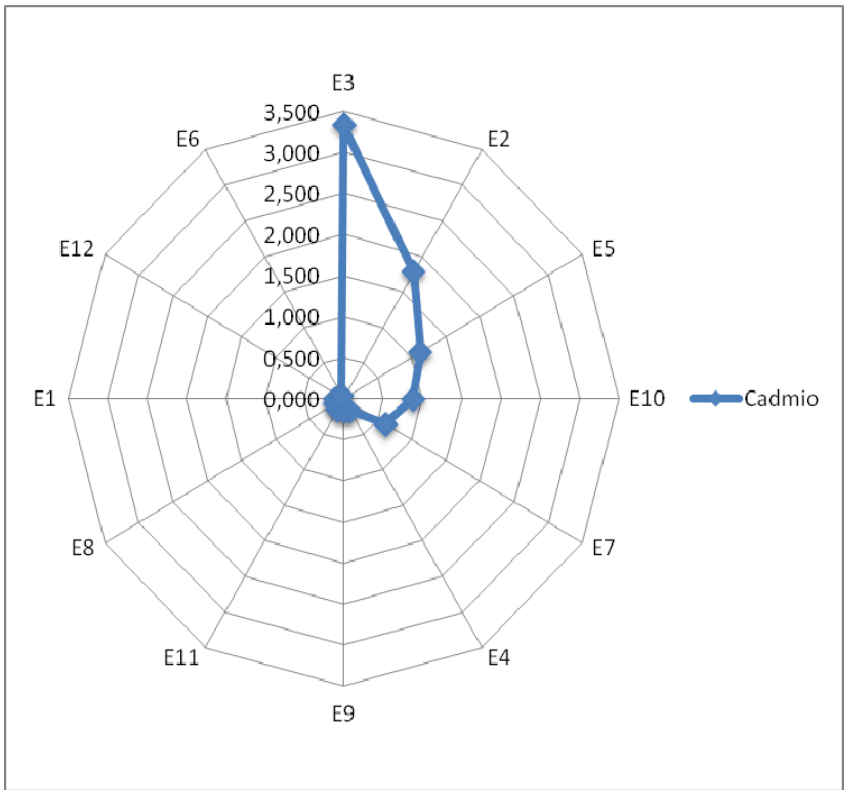
6.5.2.5. Arsénico Bioacumulado.



Nota: Distribución de mayor a menor concentración en sentido de las agujas del reloj.

Nº.	Estaciones	Arsénico (mg/kg)
2	Mª Carboneras	4,861
9	Aldea Blanca	4,594
4	Mª Arinaga	3,927
11	Ingenio-Cazadores	3,724
3	Santa Lucía	2,610
1	Pico Tabaibas	2,404
5	Mª. Agüimes	1,573
12	Temisas	1,484
7	Cruz Grande	1,420
6	Ingenio-Pasadilla	1,416
10	Pico de las Nieves	1,215
8	Gitagana	0,550

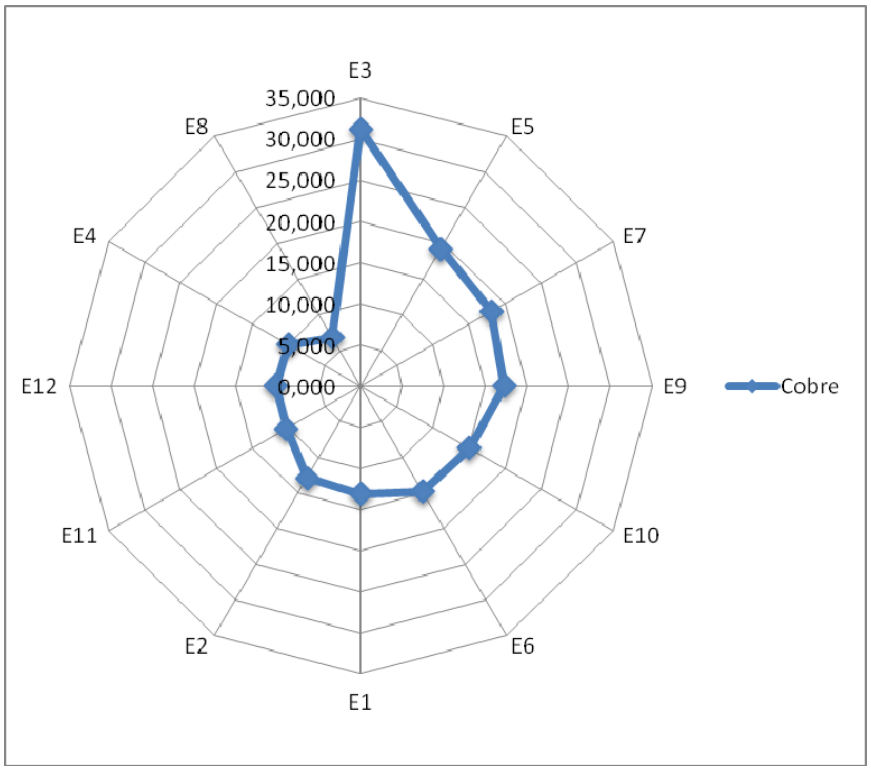
6.5.2.6.Cadmio Bioacumulado.



Nota: Distribución de mayor a menor concentración en sentido de las agujas del reloj.

Nº.	Estaciones	Cadmio (mg/kg)
3	Santa Lucía	3,322
2	Mª Carboneras	1,777
5	Mª Agüimes	1,129
10	Pico de las Nieves	0,882
7	Cruz Grande	0,614
4	Mª Arinaga	0,173
9	Aldea Blanca	0,159
11	Ingenio-Cazadores	0,153
8	Gitagana	0,131
1	Pico Tabaibas	0,110
12	Temisas	0,059
6	Ingenio-Pasadilla	0,050

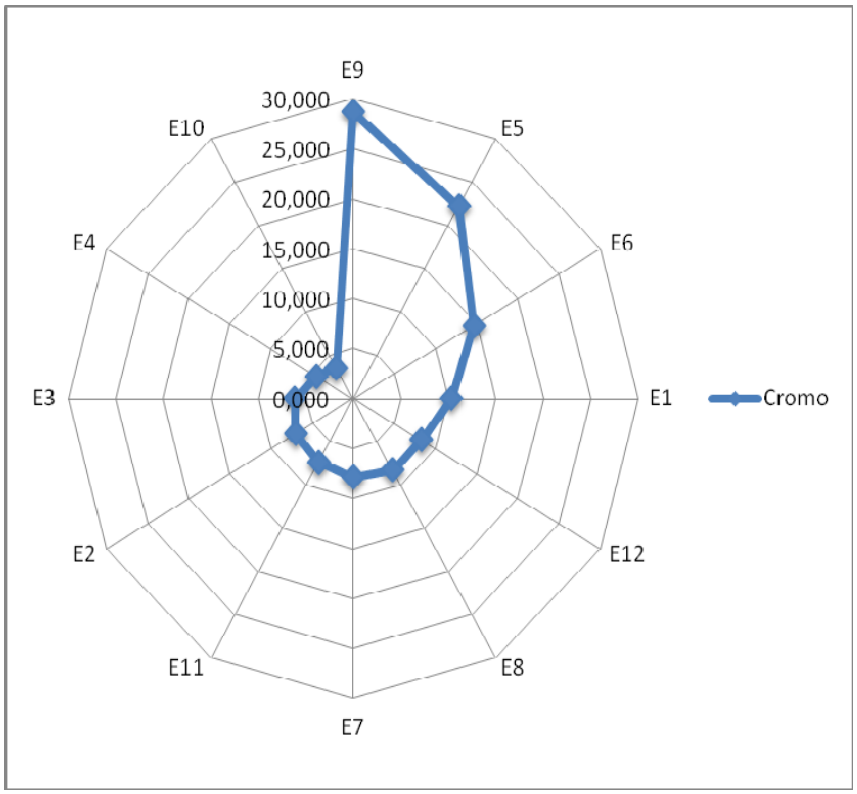
6.5.2.7.Cobre Bioacumulado.



Nota: Distribución de mayor a menor concentración en sentido de las agujas del reloj.

Nº.	Estaciones	Cobre (mg/kg)
3	Santa Lucía	31,174
5	Mª Agüimes	19,225
7	Cruz Grande	18,168
9	Aldea Blanca	17,244
10	Pico de las Nieves	15,105
6	Ingenio-Pasadilla	14,823
1	Pico Tabaibas	13,109
2	Mª Carboneras	12,885
11	Ingenio-Cazadores	10,310
12	Temisas	10,177
4	Mª Arinaga	10,010
8	Gitagana	6,824

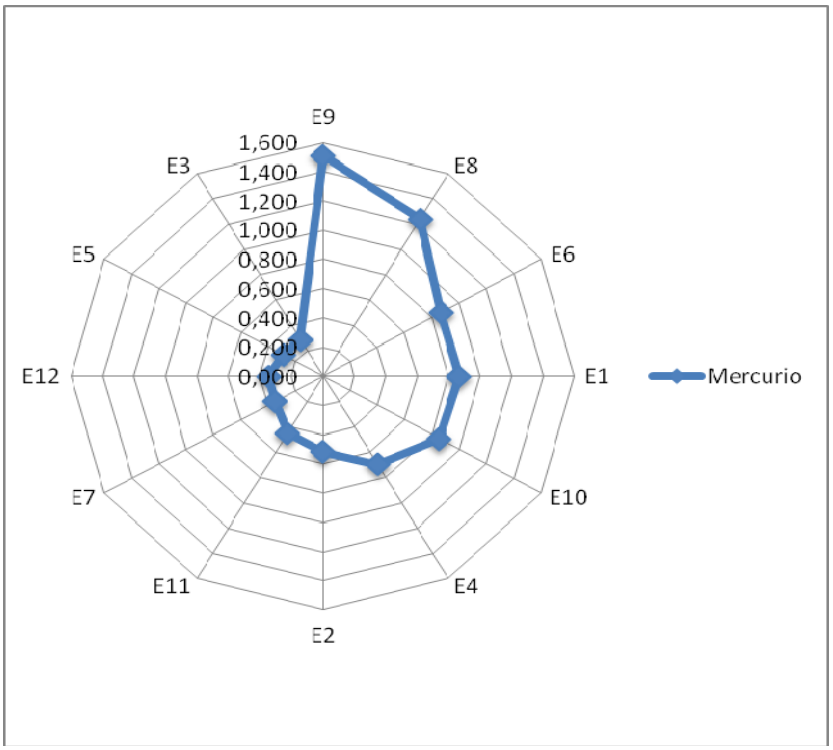
6.5.2.8. Cromo Bioacumulado.



Nota: Distribución de mayor a menor concentración en sentido de las agujas del reloj.

Nº.	Estaciones	Cromo (mg/kg)
9	Aldea Blanca	28,721
5	Mª Agüimes	22,210
6	Ingenio-Pasadilla	14,686
1	Pico Tabaibas	10,329
12	Temisas	8,294
8	Gitagana	8,251
7	Cruz Grande	7,852
11	Ingenio-Cazadores	7,383
2	Mª Carboneras	7,018
3	Santa Lucía	6,162
4	Mª Arinaga	4,435
10	Pico de las Nieves	3,531

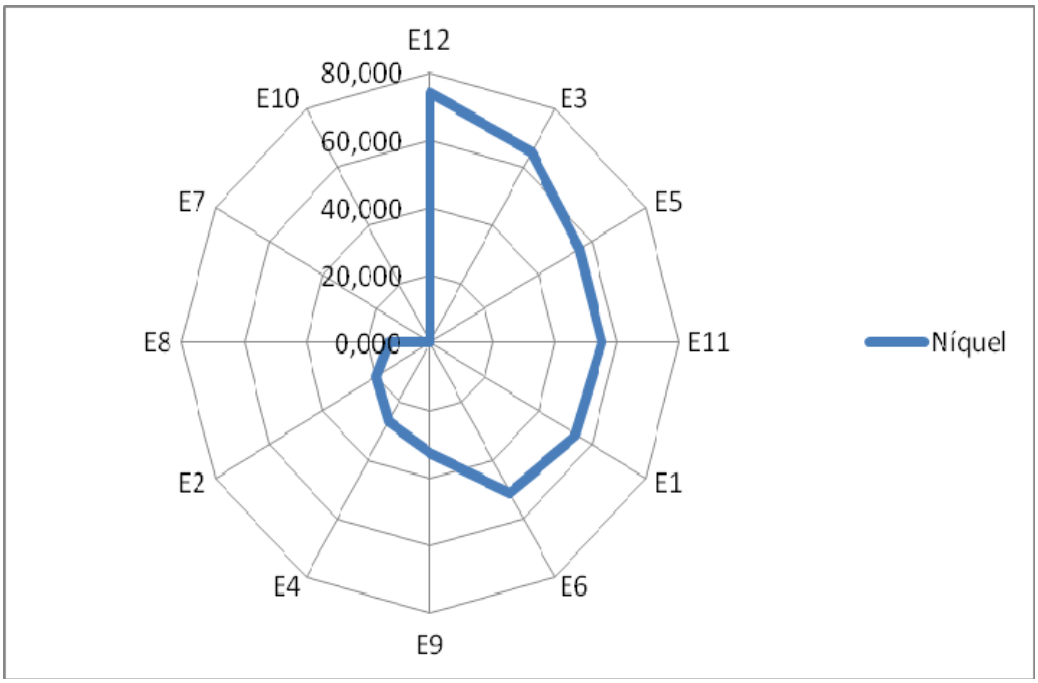
6.5.2.9. Mercurio Bioacumulado.



Nota: Distribución de mayor a menor concentración en sentido de las agujas del reloj.

Nº.	Estaciones	Mercurio (mg/kg)
9	Aldea Blanca	1,510
8	Gitagana	1,241
6	Ingenio-Pasadilla	0,869
1	Pico Tabaibas	0,864
10	Pico de las Nieves	0,852
4	Mª Arinaga	0,696
2	Mª Carboneras	0,515
11	Ingenio-Cazadores	0,448
7	Cruz Grande	0,348
12	Temisas	0,346
5	Mª Agüimes	0,289
3	Santa Lucía	0,286

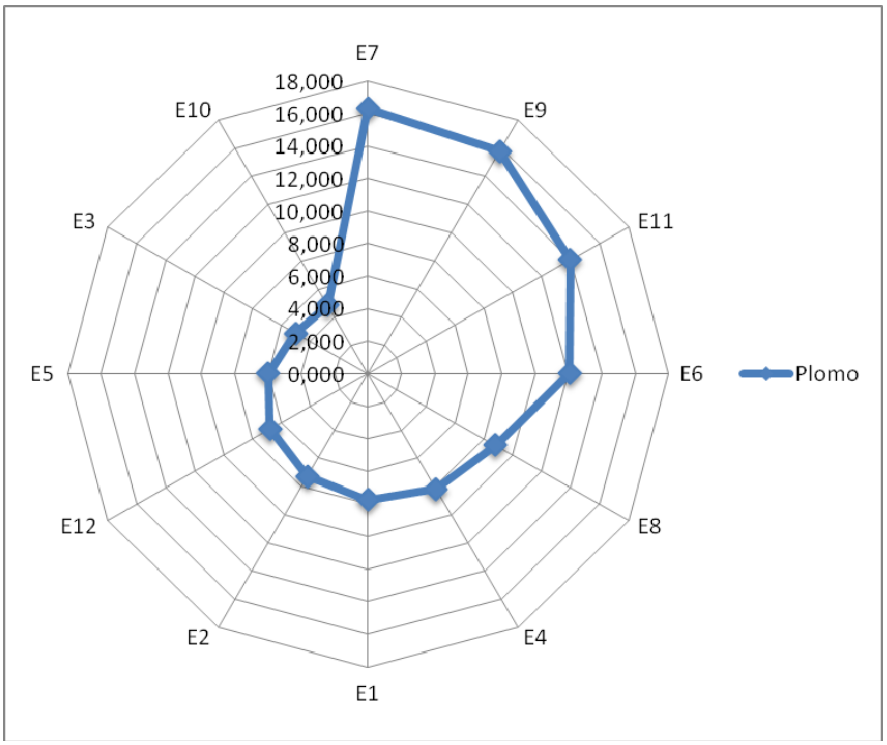
6.5.2.10. Níquel Bioacumulado.



Nota: Distribución de mayor a menor concentración en sentido de las agujas del reloj.

Nº.	Estaciones	Níquel (mg/kg)
12	Temisas	73,990
3	Santa Lucía	65,313
5	Mª Agüimes	55,600
11	Ingenio-Cazadores	55,072
1	Pico Tabaibas	53,956
6	Ingenio-Pasadilla	51,347
9	Aldea Blanca	32,475
4	Mª Arinaga	26,852
2	Mª Carboneras	19,991
8	Gitagana	13,594
7	Cruz Grande	0,883
10	Pico de las Nieves	0,141

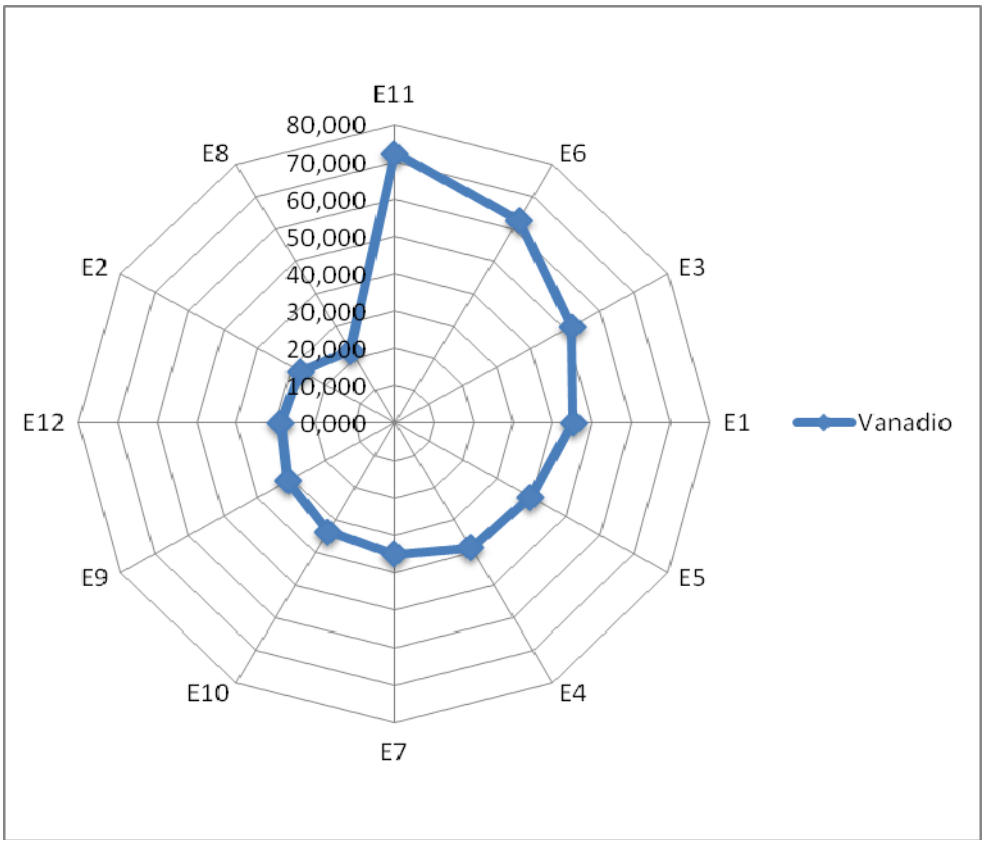
6.5.2.11. Plomo Bioacumulado.



Nota: Distribución de mayor a menor concentración en sentido de las agujas del reloj.

Nº.	Estaciones	Plomo (mg/kg)
7	Cruz Grande	16,281
9	Aldea Blanca	15,775
11	Ingenio-Cazadores	13,978
6	Ingenio-Pasadilla	12,063
8	Gitagana	8,799
4	Mª Arinaga	8,172
1	Pico Tabaibas	7,732
2	Mª Carboneras	7,267
12	Temisas	6,784
5	Mª Agüimes	5,999
3	Santa Lucía	5,007
10	Pico de las Nieves	4,866

6.5.2.12. Vanadio Bioacumulado.



Nota: Distribución de mayor a menor concentración en sentido de las agujas del reloj.

Nº.	Estaciones	Vanadio (mg/kg)
11	Ingenio-Cazadores	72,203
6	Ingenio-Pasadilla	62,821
3	Santa Lucía	51,822
1	Pico Tabaibas	45,223
5	Mª Agüimes	39,710
4	Mª Arinaga	38,587
7	Cruz Grande	35,062
10	Pico de las Nieves	33,650
9	Aldea Blanca	31,193
12	Temisas	28,827
2	Mª. Carboneras	27,512
8	Gitagana	22,358

Basándonos en los resultados del estudio químico, del estudio fotográfico, de los datos de humedad relativa, direcciones de viento y orografía, podemos destacar tres zonas de concentraciones similares o isolíneas de concentración de contaminantes bioacumulados (Figura 56), que se caracterizan por los siguientes aspectos:

a) **Zona 1:** En la que se incluyen las estaciones **E1** (Pico Tabaibas), **E4** (Montaña Arinaga), **E5** (Montaña Agüimes), **E8** (Gitagana) y **E9** (Aldea Blanca). Esta zona se caracteriza por estar en zonas costeras, en los alrededores de núcleos de población y la autopista general del sur.

b) **Zona 2:** En la que se incluyen las estaciones **E7** (Cruz Grande) y **E10** (Pico de las Nieves). Esta zona se caracteriza por estar en la mayor cota de la isla, lejos de los núcleos de población importantes y con porcentajes de humedad relativa óptimos para el desarrollo de los líquenes.

c) **Zona 3:** En la que se incluyen las estaciones **E2** (Montaña Carboneras), **E3** (Santa Lucía), **E6** (Ingenio-Pasadilla), **E11** (Ingenio-Cazadores) y **E12** (Temisas). Esta zona se caracteriza por ubicarse en una cota intermedia con porcentajes de humedad relativa óptimos para el desarrollo de los líquenes y con influencia debida a la dirección de vientos dominantes (alisios), provenientes de la zona del aeropuerto y de los polígonos industriales de Melenara, Piedra Santa, etc.

Por lo tanto, se pueden establecer isolíneas de concentración de la distribución de la mayoría de los contaminantes analizados, en las Zonas mencionadas anteriormente, que se muestran en el mapa que se muestra a continuación:

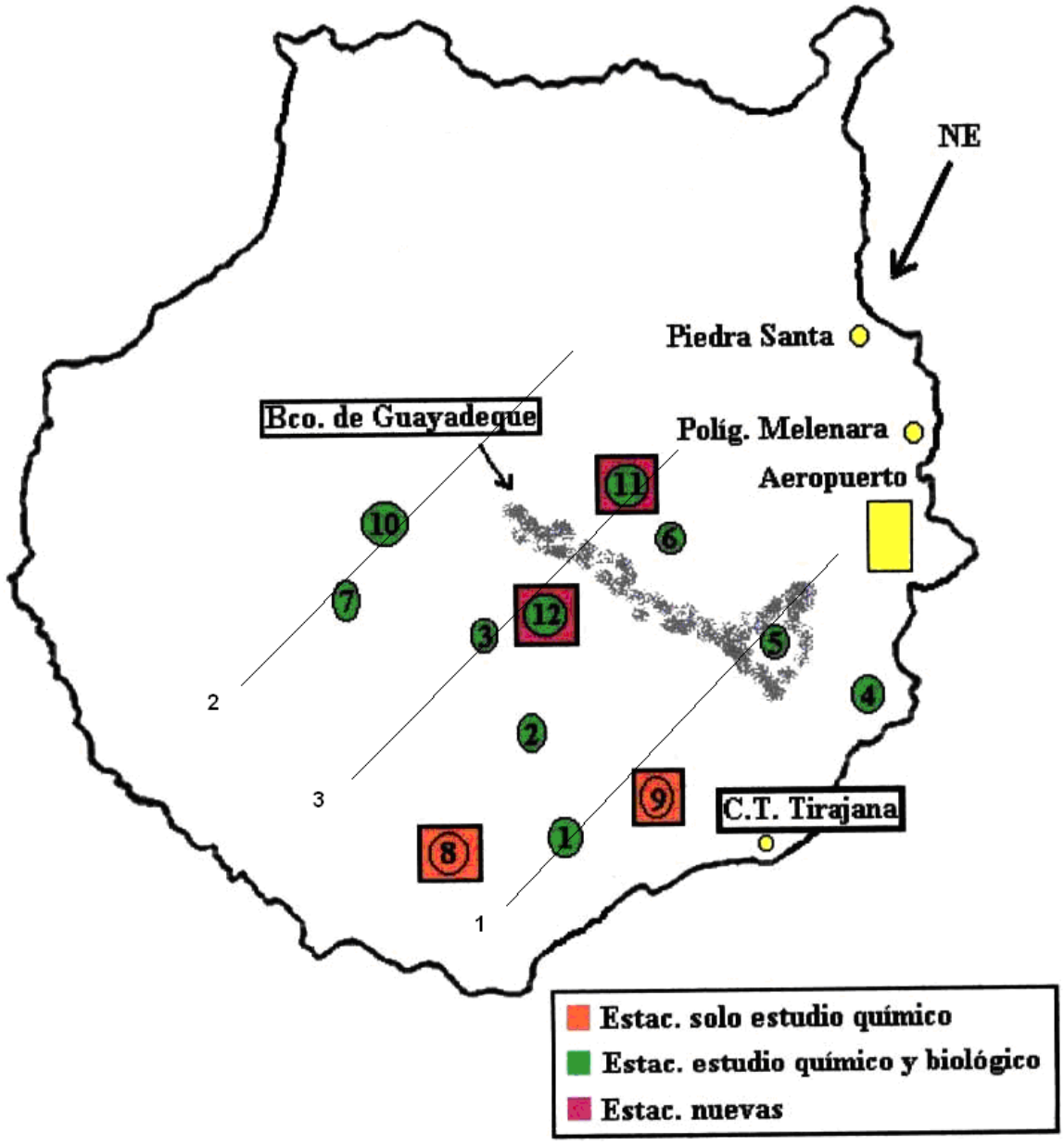


Figura 56. Mapa de Isolíneas de Concentración.

Capítulo VII:

Conclusiones

Como conclusiones al desarrollo del presente estudio de contaminacíon atmosférica utilizando bioindicadores liquénicos, realizado durante el período 2005-2013 realizando dos tipos de muestreos diferentes: por una parte, se han llevado a cabo inventarios fotográficos durante los años 2005, 2006, 2007, 2008 y 2010 para observar los posibles cambios en cobertura y vitalidad de las especies más abundantes y representativas de las distintas estaciones a estudio, así como por su ubicación frente a la Central Térmica de Juan Grande; y por otra parte se han recolectados diversas especies en las diferentes estaciones de muestreo, para proceder a analizar el contenido de las mismas en azufre, nitrógeno, Metales pesados, HAP´s, PCB´s y Pesticidas; así como su contenido en clorofila y feofitina (pigmento que proviene de la degradación de la clorofila, por influencias de la contaminación

Tomando en cuenta todos los aspectos considerados en la discusión final anteriormente mencionada, se elaboran las siguientes conclusiones:

1. Con respecto a el estudio fotográfico comparativo de talos liquénicos (fundamentalmente de líquenes crustáceos tipo *Xanthoria)*, con el fin de constatar el **grado de recubrimiento y vitalidad** durante los años a estudio, así como, durante los períodos húmedos y secos, hemos de indicar que:no se observa una gran influencia de los contaminantes estudiados en el **grado o porcentaje de recubrimiento** durante el período estudiado (2005-2010).

2. Como cabría de esperar, se observa que, en los distintos períodos (húmedos y secos) durante el perìodo en estudio, existe una variación en el **grado de vitalidad** de los talos liquénicos; estando influenciado más por parámetros ambientales como son humedad, temperatura, régimen de vientos, etc. y no por la presecncia de un foco emisor de contaminantes.

3 En el caso de los líquenes de la Estación **E4,** Montaña Arinaga, se encuentran sometidos a está sometida a vientos constantes y con alto nivel de salinidad , por lo que las variaciones en su recubrimiento no solo se deben a cambios estacionales.

4. Para el caso de Talos crustáceos la diferencia es casi inapreciable durante el período analizado. Sin embargo, en los casos de talos crustáceos, tipo *Xanthoria parietina* y talos foliáceos, tipo *Caloplaca gloriae* , sí que se observan, en ocasiones diferencias entre los muestreos.

5. En las estaciones que se encuentran localizadas dentro de una zona de distancia media: Estación 1, **E1** (Pico Tabaibas), Estación 2, **E2** (Montaña Carboneras), Estación 6, **E6** (Ingenio-Pasadilla) y Estación 3, **E3** (Santa Lucía), no se observan cambios en los recubrimientos, pero sí en la vitalidad entre períodos húmedos y secos.

6. Con respecto a el estudio químico realizado determinando Nitrógeno, Azufre, Metales Pesados, Clorofila y Feofitina, en distintas muestras de especies liquénicas en cada estación, se constata que en su mayoría, reproducen una misma tendencia de la bioacumulación en todos los años en que se llevó a cabo el estudio; esto es, se detectan las **mismas zonas diferenciadas de contaminación,** en las que se agrupan las comunidades liquénicas analizadas.

7. Se observa en la mayoría de los casos una disminución en la concentración de algunos contaminantes metálicos (en los tres útltimos años 2008, 2010 y 2013) y un aumento en la concentración de clorofila, presuntamente como resultado de una menor bioacumulación de dichos compuestos.

8. En general, la **zona de distancia media** a la Central Térmica (entre 8 y 14 Km), presenta la mayor tasa de bioacumulación de elementos metálicos, Nitrógeno y Azufre analizados.

9. En cuánto a los resultados de los compuestos orgánicos analizados: HAP¨S, PCB´s, Pesticidas Oranoclorados y Pesticidas Organofosforados, las concentraciones son similares a las reportadas en bibliografía para líquenes de tipo *Xanthoria.* Al no existir suficiente investigación realizada para este tipo de

contaminantes en líquenes,, se recomienda seguir profundizando en esta área, como posible línea de investigación futura.

10. Respecto a los resultados de los análisis químicos realizados a las tres distintas muestras de líquenes *Parmelia, Lobaria y Usnea* obtenidas en la Estación 10 **E10**, Pico de las Nieves; se observa claramente que tienen **diferente capacidad de bioacumulación** para los contaminates analizados, obteniéndose diferentes concentraciones de los mismos, durante la realización de un mismo muestreo.

11. Destacando que las estaciones ubicadas respecto a la Central Térmica de Barranco de Tirajana: **E5 (Montaña Agüimes-dirección N-NNE), E6 (Ingenio-Pasadilla-dirección NNW-N), E3 (Santa Lucía-dirección NW-NNW) y la E4 (Arinaga-dirección NNE-NE)**, muestran una dirección contraria a los vientos dominantes NNE, y teniendo en cuenta la ubicación del foco emisor (Central Térmica de Barranco de Tirajana), salvo excepciones, en el año que los vientos tengan dirección SSE, la posible explicación de la bioacumulación de los elementos químicos indicados anteriormente en las estaciones citadas, que son las de mayor índice de acumulación, es que reciben la influencia del área del **aeropuerto de Gando, zona industrial de Telde y zona industrial de Piedra Santa**, debido a la dirección de los vientos dominantes. Esta hipótesis viene corroborada por las medidas obtenidas en las cabinas de inmisión de: **Agüimes, Arinaga y Sardina.**

Bibliografía

1. Abdul-Wahab, S.A., Bakheit, C,S., Siddiqui, R.A. (2005). "*Study of the relationship between the health effects and characterization of thermal inversions in the Sultanate of Oman*". Atmospheric Environment, 39, 5466–5471.

2. Adachia, K., Tainosho, Y. (2004). "*Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust".* Environment International. 30, 1009-1017.

3. Agencia de Protección Ambiental. Estados Unidos de Norteamérica (E.P.A.) http://www.epa.gov/

4. Agusa, T., Takagi, K., Kubota, R., Anan, Y., Iwata, H., Tanabe, S. (2008). *"Specific accumulation of arsenic compounds in green turtles (Chelonia mydas) and hawksbill turtles (Eretmochelys imbricata) from Ishigaki Island, Japan"*. Environmental Pollution 153,127-136.

5. Alexeyev, V. A. (1995). "*Impacts of air pollution on far north forest vegetation*". The Science of Total Environment. 160/161, 605-617.

6. Altuzar, V., Tomás, S.A., Zelaya-Ángel, O., Sánchez-Sinencio, F., Arriaga, J.L. (2005). "*Atmospheric ethene concentrations in Mexico City: Indications of strong diurnal and seasonal dependences*". Atmospheric Environment. 39, 5219–5225.

7. Amador-Muñoz, O., Villalobos-Pietrini, R., Agapito-Nadales,M.A., Munive-Colín, Z., Hernández-Mena, L., Sánchez-Sandoval, M., Gómez-Arroyo, S., Bravo-Cabrera , J.L., Guzmán-Rincón, J. (2010). *"Solvent extracted organic matter and polycyclic aromatic hydrocarbons distributed in size-segregated airborne particles in a zone of México City: Seasonal behaviour and human exposure".* Atmospheric Environment 44, 122–130.

8. Ariño, X., Ortega-Calvo, J. J., Gómez-Bolea, A., Saiz-Jiménez, C. (1995). *"Lichen colonization of the Roman pavement at Baelo Claudia (Cádiz, Spain): biodeteroration vs., bioprotection"*. The Science of the Total Environment 167, 353-363.

9. ATSDR /http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/ tp5.htmlS (5 January2008).

10. Augusto, S., Catarino, F., Branquinho, C. (2007). "*Interpreting the dioxin and furan profiles in the lichen Ramalina canariensis Steiner for monitoring air pollution".* Science of the Total Environment 377, 114–123.

11. Augusto, S., Máguas, C., Matos, J., Pereira, M. J., Branquinho, C. (2010). *"Lichens as an integrating tool for monitoring PAH atmospheric deposition: A comparison with soil, air and pine needles"*. Environmental Pollution 158, 483-489.

12. Augusto, S., Pereira, M. J., Maguas, C., Branquinho, C. (2013). *"A step towards the use of biomonitors as estimators of atmospheric PAHs for regulatory purposes"*. Chemosphere 92, 626-632.

13. Barregard, L., Fabricius-Lagging, E., Lundh, T., Mölne, J., Wallin, M., Olausson, M., Modigh, C., Sallsten, G. (2010). *"Cadmium, mercury, and lead in kidney cortex of living kidney donors: Impact of different exposure sources".* Environmental Research 110, 47-54.

14. Barrios, N., Feijóo, S. (2003). *"A combined mass and energy balance to provide bioindicators of soil microbiological quality"*. Biophysical Chemistry *104, 561-572.*

15. Bartók, K. (1999). *"Pesticide usage and epiphytic lichen diversity in Romanian orchards".* Lichenologist 31, 21-25.

16. Bates, J. W., Bell, J. N. B., Massara, A. C. (2001). *"Loss of* Lecanora conizaeoides *and other fluctuations of epiphytes on oak in S.E. England over 21 years with declining SO_2 concentrations"*. Atmospheric Environment 35, 2557-2568.

17. Bennett, J. P., Wetmore, C. (2000). *"16-Year trends in elements of lichens at Theodore Roosevelt National Park, North Dakota"*. The Science of the Total Environment 263, 231-241.

18. Bennett, J. P., Wetmore, C. (2002). *"Elemental chemistry of four lichen species from the Apostle Islands, Wisconsin, 1987,1995 and 2001".* The Science of the Total Environment 305, 77-86.

19. Bermudez, G., Rodríguez, J.H., Pignata, M.L. (2009). *"Comparison of the air pollution biomonitoring ability of three Tillandsia species and thelichen Ramalinacelastri in Argentina".* Environmental Research 109, 6-14.

20. Bergamaschi, L., Rizzio, E., Giaveri, G., Profumo, A., Loppi, S., Gallorini, M., (2004). "*Determination of baseline element composition of lichens using samples from high elevations* ". Chemosphere 55, 933-939.

21. Bero, A.S., Gibbs, R.J., 1990. "*Mechanisms of pollutant transport in the Hudson estuary*". The Science of the Total Environment 97/98, 9-22.

22. Bieltvedt Skeie, R., Fuglestvedt. J., Berntsen, T., Tronstad Lund, M., Myhre, G., Rypdal, K. (2009). "*Global temperature change from the transport sectors: Historical development and future scenarios*". Atmospheric Environment 43, 6260–6270.

23. Bitern, M., Vouts, D. (2005). "*Polychlorinated biphenyls in ambient air of NW Greece and in particulate emissions*". Environment International. 31, 671-677.

24. Blaha, J., Grube, M. (2007). *"The new species Lecanora bicinctoidea, its position and considerations about phenotypic evolution in the Lecanora rupicola group". Mycologia*, 99, 50-58.

25. Blasco, M., Domeño, C., Nerín, C. (2006). *"Use of lichens as Pollution Biomonitors in remote areas: comparison of PAHs extracted from lichens and Atmospheric particles sampled in an around the Somport Tunnel (Pyrenees)"*. Environmental Science Technology Vol. 40, No. 20, 6384-6391.

26. Blasco, M., Domeño, C., Nerín, C. (2006). *" A Fast extraction technique for extracting polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from lichens samples used as*

biomonitors of air pollution: Dynamic sonication versus other methods". Analytica Chimica Acta 569, 103-112.

27. Blasco M., Domeño, C., Bentayeb, K., Nerín, C. (2007). *"Solid phase extraction clean-up procedure for the analysis of PAHs in lichens".* International Journal of Environmental and Analytical Chemistry. Vol. 87, No.12, 833-846.

28. Bordajandi, L.R., Martín, I., Abad, E., Rivera, J., González, M.J. (2006). *"Organochlorine compounds (PCBs, PCDDs and PCDFs) in seafish and seafood from the Spanish Atlantic Southwest Coast".* Chemosphere 64, 1450–1457.

29. Breivik, K., Sweetman, A., Pacyna, J.M., Jones, K.C. (2002). *"Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners - a mass balance approach 1. Global production and consumption".* The Science of the Total Environment 290,181–198.

30. Breivik, K., Sweetman, A., Pacyna, J.M., Jones, K.C. (2002). *"Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners - a mass balance approach 2. 2. Emissions".* The Science of the Total Environment 290,199–224.

31. Brighigna, L., Ravanelli, M., Minelli, A., Ercoli, L. (1997). *"The use o an epiphyte (*Tillandsia caput-medusae morren*) as bioindicador of air pollution in Costa Rica"*. The Science of the Total Environment 198, 175-180.

32. Brunauer, G., Hager, A., Grube, M., Türk, R., Stocker-Wörgötter, E. (2007). *"Alterations in secondary metabolism of aposymbiotically Brown mycobionts of Xanthoria elegans and cultured resynthesis stages".* Plant Physiology and Biochemistry 45, 156-151.

33. Brunekreef, B., Holgate, S. T. (2002). *"Air pollution and health".* The Lancet Vol. 360, October 19, 2002 • www.thelancet.com

34. Brunialti, G., Giordani, P. (2003). *"Variability of lichen diversity in a climatically heterogeneous area (Liguria, NW Italy).* Lichenologist 35(1), 55-69.

35. Budja, D., Mesjasz-Przybylowicz, J., Przybylowicz, W. J. (2004). *"Environmental pollution monitoring using lichens as bioindicators: a micro-PIXE study"*. Radiation Physics and Chemistry 71, 783-784.

36. Calatayud, A., Sanz, M.J., Calvo, E., Barreno, E., del Valle-Tascón, S. (1996). *"Chlorophyll A fluorescent and Chlorophyll content in* Parmelia quercina *talli from a polluted region of Northern Castellón (Spain)".* Lichenologist 28(1), 49-65.

37. Calzoni, G. L., Antognoni, F., Pari, E., Fonti, P., Gnes, A., Speranza, A. (2007). *"Active biomonitoring of heavy metal pollution using Rosa rugosa plants".* Environmental Pollution 149, 239-245.

38. Carballeira, A., Carral, E., Puente, X., Villares, R., (2000). "*Regional-scale monitoring of coastal contamination. Nutrients and heavy metals in estuarine sediments and organisms on the Coast of Galicia (NW Spain).*" In: Conti, M.E., Botré, F., (Eds.), The Control of Marine Pollution. Current Status and Future Trends. Special issue of International Journal of Environment and Pollution (IJEP), 13, 1—6, pp. 534-572.

39. Carrascosa, J.M., Benvenuti, F., Rodríguez, C., Ferrándiz, C. (2009). "*Characteristics of Patients With Hand Dermatitis Referred to the Contact Dermatitis Unit of a Tertiary Hospital and Impact of Patch Testing on Diagnosis"*. Actas Dermosifiliogr, 100,493-8.

40. Carreras, H.A., Rodríguez, J.H., González, C.M., Wannaz, E.D., García-Ferreira, F., Pérez, C.A., Pignata, M.L. (2009). *"Assessment of the relationship between total suspended particles and the response of two biological indicators transplanted to an urban area in central Argentina"*. Atmospheric Environment 43, 2944-2949.

41. Cêburnis, D., Sàkalys, J., Armolaitis, K., Valiulis, D., Kvietkus, K. (2002). "*In-stack emissions of heavy metals estimated by moss biomonitoring method and snow-pack analysis"* Atmospheric Environment. 36, 1465-1474.

42. Cercasov, V., Pantelica, A., Salagean, M., Caniglia, G., Scarlat, A. (2002). *"Comparative study of the suitability of three lichen species to trace-element air monitoring".* Environmental Pollution 119, 129–139.

43. Cho, A. K., Sioutas, C., Miguel, A.H., Kumagai, Y., Schmitz, D.A., Singh, M., Eiguren-Fernández, A., Froinesa, J.R. (2005). "*Redox activity of airborne particulate matter at different sites in the Los Angeles Basin*". Environmental Research. 99, 40–47.

44. Colette, C., Ancellet, A., Borchi, F. (2005). "*Impact of vertical transport processes on the tropospheric ozone layering above Europe. Part I: Study of air mass origin using multivariate analysis, clustering and trajectories*". Atmospheric Environment. 39, 5409–5422.

45. Connell, D. (1986). "*Ecotoxicology- a new approach to understanding hazardous chemicals in the environment*". Search 17(1-2), 27-31.

46. Consejo de la Unión Europea. Directiva Ambiental de la Calidad del Aire. 1999, 2000.

47. Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP´s) en Alimentos En España. (2001). Extractos del informe *"Receta para un desastre alimentario"* de Greenpeace Internacional.

48. Conti, M.E., Cecchetti, G. (2001). "*Biomonitoring: lichens as bioindicators assessment: a review*". Environmental Pollution, 114, 471-492.

49. Corbellá, R., García, F. (1999). *"Levels of polychlotinated Biphenyls in* Patella piperata *from the coast of Fuerteventura (Canary Islands, Spain)"*. Chemosphere 38, Vol. 10, 2303-2313.

50. Coronado-González, J. A., Del Razo, L. M., García-Vargas, G., Sanmiguel-Salazar, F., Escobedo-de la Peña, J. (2007). *"Inorganic arsenic exposure and type 2 diabetes mellitus in Mexico".* Environmental Research 104,383–389.

51. Costa, C. J., Marques, A.C., Freiras, M., Reís, A.M., Oliveira, O. R. (2002). "*A Comparative study for results obtained using biomonitors and PM10 collectors in Sado Estuary*". Environmental Pollution, 120, 97-106.

52. Couto, J. A., Fernández, J. A., Aboal, J. R., Carballeira, A. (2003). "*Annual variability in heavy-metal bioconcentration in moss: sampling protocol optimization".* Atmospheric Environment, 37, 3517-3527.

53. Cruz, M.J., Costa, R., Marquilles, E., Morrel, F., Muñoz, X. (2005). "*Occupational Asthma Caused by Chromium and Nickel*". Arch Bronconeumol. 42(6), 302-6.

54. Daniel, J., Lennart, N., Thierry, B., Arve, E. (2010). *"Plants as bioindicator for temperature interpolation porpuses: Analyzing spatial correlation between botany based index of thermophily and integrated temperatures characteristics."* Ecological Indicators 990-998.

55. Des Abajes, H. (1989). "*Líquenes, Botánica. Vegetales inferiores.*" Editorial. Reverté S.A.

56. Dirección General del Medio Ambiente. Unión Europea.
Directiva 2001/81/CE. http://www.europa.eu.int/

57. Dobson, F.S. (1989). "*Lichens, an illustrated Guide to the British and Irish Species*. The Richmond Publishing Co. Ltd. London.

58. Doucet, F.J., Carignan, J. (2000). *"Atmospheric Pb isotopic composition and trace metal concentration as revealed by pephipytic lichens: an investigation related to two actitudinal sections in Eastern France"*. Atmospheric Environment 35, 3681-3690.

59. Everett, C.J., King, D.E., Player, M. S., Matheson, E.M., Post, R.E., Mainous III, A. G. (2010). *"Association of urinary polycyclic aromatic hydrocarbons and serum C-reactive protein"*. Environmental Research 110, 79-82.

60. Exner, C. J., Urquizo Ayala, G. (2009). *"Organophosphate and Carbamate Intoxication in La Paz, Bolivia".* The Journal of Emergency Medicine, Vol. 36, No. 4, 348–352.

61. Fernández, J.A., Carballeira, R.A. (2000). "*An extended study of heavy metal deposition in Galicia / NW Spain based on moss analysis*". The Science of the Total Environment. 254, 331-344.

62. Fernández, J.A., Carballeira, R.A. (2000). *"A comparison of indigenous mosses and topsoils for use in monitoring atmospheric heavy metals deposition in Galicia (northwest Spain)"*. Environmental Pollution 114, 431-441.

63. Fernández-Salegui, A. B., Terrón, A., (2003). *"Biomonitorización de la calidad del aire en los alrededores de La Robla (León)".* Ecosistemas No.2/2003. Año XII.

64. Fiedor, L., Kania, A., Myśliwa-Kurdziel, B., Orzeł, L., Stochel, G. (2008). *"Understanding chlorophylls: Central magnesium ion and phytyl as structural Determinants".* Biochimica et Biophysica Acta 1777,1491–1500.

65. Finkelstein, M. M., Jerrett, M. (2007). *"A study of the relationships between Parkinson's disease and markers of traffic-derived and environmental manganese air pollution in two Canadian cities"*. Environmental Research 104, 420-432.

66. Filella, I., Peñuelas, J., Ribas, A. (2004). *"Using plants biomonitors and flux modelling to develop O_3 dose-response relationships in Catalonia".* Environmental Pollution 134, 145-151.

67. Fränzle, O. (2006). *"Complex bioindication and environmental stress assessment". Ecolo*gical Indicators, 6, 114–136.

68. Freire, C., Ramos, R., López-Espinosa, M. J., Díez, S., Vioque, J., Ballester, F., Fernández, M. F. (2010). "*Hair mercury levels, fish consumption, and cognitive development in preschool children from Granada, Spain".* Environmental Research 110, 96–104.

69. Freitas, M.C., Nobre, A.S. (1997). "*Bioaccumulation of heavy metals using Parmelia sulcata and Parmelia caperata for air pollution* studies". J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles 217(1), 21-30.

70. Foster, I. D. L., Charlesworth, S. M. (1996). *"Heavy Metals in the Hydrological Cycle: Trends and Explanation".* Hydrological Processes Vol. 10, 227-261.

71. Galindo, A. (1977). "*Historia de la Conquista de las Siete Islas de Canarias".* Goya Ediciones. 84-400-3465-0.

72. Gallagher, C.M., Moonga, B.S., Kovach, J. S.(2010). *"Cadmium, follicle-stimulating hormone, and effects on bone in women age 42–60 years, NHANES III".* Environmental Research 110, 105-111.

73. Garban, B., Blanchoud, H., Motelay-Massei, A., Chevreuil, M., Ollivon, D. (2002). "*Atmospheric bulk deposition of PAH´s on to France: trends from urban to remote sites".* Atmospheric Environment 36, 5395–5403.

74. García Moliner, M. (1995). "*Instrucciones para el uso del analizador elemental EA 1108 C H N S – O*". CAFMA. Código CAF-E0018.

75. Geagea, M. L., Stille, P., Gauthier-Lafaye, F., Perrone, Th., Aubert, D. (2008). *"Baseline determination of the atmospheric Pb, Sr, and Nd isotopic compositions in the Rhine valley, Vosges mountains (France) and the Central Swiss Alps".* Applied Geochemistry 23, 1703.

76. Gombert, S., Asta, J., Seaward, M. R. D. (2003). "*Correlation between the nitrogen concentration of two epiphytic lichens and the traffic density in an urban area"*. Environmental Pollution 123, 281–290.

77. Gimeno, B. S., Bermejo, V., Sanz, J., De la Torre, D., Gil, J. M. (2004) *"Assessment of the effects of ozone exposure and plant competition on the reproductive ability of therophytic clover species from Iberian pastures"*. Atmospheric Environment 37, 2295-2303.

78. Giralt, M., Etayo, J., Van den Boom, P. (2002). *"*Buellia laurocanariensis*, a new species from the Canary Islands".* Lichenologist 34(3) 203,206.

79. González, C. M., Pignata, M. L., Orellana, L. (2003). *"Applications of redundancy analysis for the detection of Chemicals response patterns to air pollution in lichen"*. The Science of Total Environment 312, 245-253.

80. Grube, M., Hawksworth, D.L. (2007). *"Trouble with lichen: the re-evaluation and re-interpretation of thallus form and fruit body types in the molecular era".* Mycological Research III, 1116-1132.

81. Gueidan, C., Roux, C., Lutzoni, F. (2007). *"Using a multigene phylogenetic analysis to assess generic delineation and character evolution in Verrucariaceae (Verrucariales, Ascomycota)".* Mycological Research III, 1145-1168.

82. Guidotti, M., Stella, D., Owczarek, M., De Marco, A., De Simone, C. (2003). *"Lichens as polycyclic aromatic hydrocarbon bioaccumulators used in atmospheric pollution studies".* Journal of Chromatography A 985, 185–190.

83. Guo, J., Wu, F., Luo , X., Liang , Z., Liao, H., Zhang, R., Li, W., Zhao, X., Chen, S., Mai, B. (2010). *"Anthropogenic input of polycyclic aromatic hydrocarbons into five lakes in Western China".* Environmental Pollution 158, 2175-2180.

84. Gustafsson, L.E., Steinecke. K. (1995). "*Airborne contaminants and their impact on the city of Reykjavik, Iceland*". The Science of Total Environment. 160/161, 363-372.

85. Hafkenscheid, T., Baldan, A., Quincey, P., Cortez, L., Dias, F., Brown, R.H., Wright, M., Gerboles, M., Saunders, M. (2005). "*A technical review of the feasibility of producing certified reference materials for the measurement of gaseous pollutants in ambient air*". Atmospheric Environment. 39, 3947–3965.

86. Hale, M.E. (1983). "*The Biology of Lichens*". E. Arnold, London.

87. Helsen, L. (2005). "*Sampling technologies and air pollution control devices for gaseous and particulate arsenic: A review*". Environmental Pollution. 137,305-315.

88. Hammer, D.I., Finklea, R.H., Hendricks, C. M., Shy, M., Horton, R.J.M. (1971). Amer. J. Epidemiol. 93, 84-92.

89. Ho, K.F., Hang Ho, S., Lee, S. C., Cheng, Y., Chow, J.C., Watson, J.G., Louie, P. K. K., Tian, L. (2009). "*Emissions of gas- and particle-phase polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the Shing Mun Tunnel, Hong Kong".* Atmospheric Environment 43, 6343–6351.

90. Hoffmann, M. (2001). *"Evaluation of bio-indication methods using epyphites by correlating with SO_2 –pollution parameters".* Lichenologist 33(3), 249-260.

91. Honneger, R. (1998). "*The Lichen Symbiosis: What is so spectacular about it?*". Lichenologist 30(3): 193-212.

92. Hueglin, C., Gehrig, R., Baltensperger, U., Gysel, M., Monn, C., Vonmont, H. (2005). "*Chemical characterisation of PM2.5, PM10 and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland".* Atmospheric Environment 39, 637-651.

93. Hwang, H-M., Wade, T. L., Sericano, J. L. (2003). *"Concentrations and source characterization of polycyclic aromatics hydrocarbons in pine needles from Korea, México and United States".* Atmospheric Environment 37, 2259-2267.

94. Instituto Nacional de Meteorología. España. http://www.inm.es/

95. Iwai, K., Mizuno, S., Miyasaka, Y., Mori, T. (2005). "*Correlation between suspended particles in the environmental air and causes of disease among inhabitants: Cross-sectional studies using the vital statistics and air pollution data in Japan*". Environmental Research. 99, 106-117.

96. Jalkanen, L., Mäkinen, A., Häsäsen, E., Juhanoja, J. (2000). *"The effect of large anthropogenic particulate emissions on atmospheric aerosols, deposition and bioindicators in the eastern Gulf of Finland region"*. The Science of the Total Environment 262, 123-136.

97. Jazcilevich, A.D., García, A. R., Caetano, E. (2005). "*Locally induced surface air confluence by complex terrain and its effects on air pollution in the valley of Mexico*". Atmospheric Environment. 39, 5481–5489.

98. Jeran, Z., Jacimovic, R., Batic, F., Mavsar, R. (2002). *"Lichens as integrating air pollution monitors"*. Environmental Pollution 120, 107-113.

99. Kellen, E., Zeegers, M.P., Den Hond, E., Buntix, F. (2007). *"Blood Cadmium may be associated with bladder carcinogenesis: The Belgian case-control study on bladder cancer"*. Cancer Detection and Prevention 31, 77-82.

100. Kirchner, M., Jakobi, G., Feicht, E., Bernhardt, M., Fischer, A. (2005). "*Elevated NH_3 and NO_2 air concentrations and nitrogen deposition rates in the vicinity of a highway in Southern Bavaria*". Atmospheric Environment. 39, 4531-4542.

101. Kinnunen, H., Holopainen, T., Kärenlampi, L. (2003). *"Sources or error in epiphytic lichen variables mapped as bioindicators: needs to modify the Finnish standard"*. Ecological Indicators 3, 1-11.

102. Ladh, G. M., Stille, P., Gauthier-Lafaye, F., Perrone, Th., Aubert, D. (2008). *"Baseline determination of the atmospheric Pb, Sr and Nd isotopic compositions in the Rhine Valley, Vosges mountains (France) and the Central Swiss Alps".* Applied Geochemistry 23, 1703-1714.

103. Langner, J., Bergstrôm, R., Foltescu, V. (2005). "*Impact of climate change on surface ozone and deposition of sulphur and nitrogen in Europe*". Atmospheric Environment. 39, 1129–1141.

104. Leger, E. A., Forister, M. L. (2008). *"Colonization, abundance and Geographic range size of gravestone lichens".* Basic and Applied Ecology doi: 10.1016/j.baae.2008.04.001. Article in Press.

105. Llano, G. A. (1948). *"Economic uses for lichens"*. Economic Botany**,** 2 (1), 15–45.

106. Li, Y. F., Mcdonald, R.W. (2005). *"Sources and pathways of selected organochlorine pesticides to the Arctic and the effect of pathway divergence on HCH trends in biota: a review".* Science of the Total Environment 342, 87– 106.

107. Lim, T. B., Xu, R., Tan, B., Obbard, J. P. (2006). "*Persistent organic pollutants in moss as bioindicators of atmospheric pollution in Singapore".* Chemosphere 64, 596–602.

108. López Villarrubia, E., García Pérez, M. D., Peral Pérez, N., Ballester Díez, F., Iñiguez Fernández, C., Pita Toledo, M. L. (2008). *"Caracterización Del Ambiente Atmosférico En Las Palmas De Gran Canaria Y Santa Cruz De Tenerife. 2000 A 2004".* Rev. Esp. Salud Pública 82, 493-507.

109. Loppi, S., Pirintsos, S. A. (2003). *"Epiphytic lichens as sentinels for heavy metals pollution at forest ecosystems (central Italy)"*. Environmental Pollution 121, 327-332.

110. Luken, R., Grof, T. (2006). *"The Montreal Protocol's multilateral fund and sustainable development"*. Ecological Economics 56, 241-255.

111. McCarthy, P. M., Etayo, J. (2002). *"*Porina fortunata*, a new species from the Canary Islands"*. Lichenologist 32(3), 199-201.

112. Magnus Francis, B. (1994). *"Toxic substances in the Environment".* Environmental Science and Technology: A Willey-Interscience Series of Texts and Monographs. Jerald L. Schnoor and Alexander Zehnder. Series Editor. 360 pp.

113. Manning, W.J., Godzik, B. (2003). "*Bioindicator plants for ambient ozone in Central and Eastern Europe*". Environmental Pollution. 130, 33–39.

114. Manrique, E., Balaguer, L., Barnes, J., Davison, A. (1993) *"Photoinhibition Studies in lichens using Chlorophyll fluorescence analysis".* The Bryologist 94(3), 443-449.

115. Márquez, C., Castro, T., Muhlia, A., Moya, M., Martínez-Arroyo, B., Báez, A. (2005). "*Measurement of aerosol particles, gases and flux radiation in the Pico de Orizaba National Park, and its relationship to air pollution transport*". Atmospheric Environment 39, 3877–3890.

116. Marshall, J.D., McKone, T. E., Deakin, E., Nazaroff, E. (2005). "*Inhalation of motor vehicle emissions: effects of urban population and land area*". Atmospheric Environment 39, 283-295.

117. Martínez-Arkarazo, I., Angulo, M., Bartolomé, L., Etxebarria, M.A., Olazabal, M.A., Madariaga, J.M. (2006). *"An Integrated analytical approach to diagnose the conservation state of building materials of a palace house in the metropolitan Bilbao (Basque Country, North of Spain"*. Analytica Chimica Acta, Article in Press.

118. Martínez, I., Carreño, F., Escudero, A., Rubio, A. (2006). *"Are the lichens species well-protected in Spain? Effectiveness of a protected areas network".* Biological Conservation 133, 500-511.

119. Matsunaga, S., Mochida, M., Kawamura, K. (2003). "*Growth of organic aerosols by biogenic semi-volatile carbonyls in the forestall atmosphere"*. Atmospheric Environment 37, 2045–2050.

120. Métodos Normalizados para el análisis de Aguas Potables y Residuales. 1992. APHA, AWWA, WPFC, Ediciones Díaz de Santos, S.A. Madrid, España.

121. Mertens, J., Luyssaert, S., Verheyen, K. (2005). *"Use and abuse of trace metal concentrations in plant tissue for biomonitoring and phytoextraction"*. Environmental Pollution 139, 1-4.

122. Migaszewsky, Z. M., Galuszka, A., Paslwasky, P. (2002). *"Polynuclear aromatic hydrocarbons, phenols, and trace metals in selected soil profiles and plant bioindicators in the Holy Cross Mountains, South- Central Poland".* Environment International 28, 303-313.

123. Migaszewsky, Z. M. (1999). *"Determining Organic compounds ratios and vegetation of the Holy Cross Mts, Poland"*. Water, Air and Soil Pollution 111, 123-138.

124. Migaszewski, Z. M., Gałuszka, A., Pasławski, P. (2002). *"Polynuclear aromatic hydrocarbons, phenols, and trace metals in selected soil profiles and plant bioindicators in the Holy Cross Mountains, South-Central Poland".* Environment International 28, 303– 313.

125. Minelli, L., Veschetti, E., Giammanco, S., Mancini, G., Ottaviani, M. (2000). *Vanadium in Italian waters: monitoring and speciation of V (IV) and V (V)".* Microchemical Journal 67, 83-90.

126. Ministerio de Medio Ambiente. 2005. España. Banco Público de Indicadores Ambientales. http://mma.es/

127. Moreno, E., Sagnotti, L., Dinarés-Turell, J., Winkler, A., Cascella, A. (2003). "*Biomonitoring of traffic air pollution in Rome using magnetic properties of tree leaves*". Atmospheric Environment. 37, 2967-2977.

128. Moriarty, F. (1999). "*Ecotoxicology: The Study of Pollutants in Ecosystems.* Academic Press London.

129. Munzi, S., Pirintsos, S. A., Loppi, S. (2008). *"Chlorophyll degradation and inhibition of polyamine biosynthesis in the lichen Xanthoria parietina under nitrogen stress".* Ecotoxicology and Environmental Safety doi: 10.1016/j.ecoenv.2008.04.013. Article in Press.

130. Nikodemus, O., Brümelis, G., Tabors, G., Lapina, L., Pope, S. (2004). *"Monitoring of Air Pollution in Latvia between 1990 and 2000 using moss".* Journal of Atmospheric Chemistry 49, 521-531.

131. Nimis, P.L., Lazzarin, G., Lazzarin, A., Skert, N. (2000). *"Biomonitoring of trace elements with lichens in Veneto (NE Italy)*".The Science of the Total Environment 255, 97-111.

132. Needham, L.L., Barr, D.B., Caudill, S.P., Pickle, J.L., Turner, W.E., Osterley, J., Jones, R.L., Sampson, E.J. (2005). "*Concentrations of Environmental Chemicals Associated with Neurodevelopmental Effects in U.S. Population*". Neuro Toxicology. Article in Press.

133. Nevin. R. (2007). *"Undestanding International crime trends: The legacy of preschool lead exposure".* Environmental Research 104, 315-336.

134. "*New directions: air pollution—how many victims?"*. (2002). Atmospheric Environment 36, 4705–4706.

135. Odabasoglu, F., Aslan, A., Cakir, A., Suleyman, H., Karagoz, Y., Halici, M., Bayir, Y. (2004). *"Comparison of Antioxidant Activity and Phenolic Content of Three Lichen Species".* Phytotherapy Research 18, 938–941.

136. Oguntimehin, I., Nakatani, N., Sakugawa, H. (2008). *"Phytotoxicities of fluoranthene and phenanthrene deposited on needle surfaces of the evergreen conifer, Japanese red pine (Pinus densiflora Sieb. et Zucc.)".* Environmental Pollution 154, 274-271.

137. Ötvos, E., Pázmándi, T., Tuba, A. (2002). *"First national Surrey of atmospheric deposition of atmospheric heavy metal deposition in Hungary by the analysis of mosses".* The Science of the Total Environment 309, 151-160.

138. Oropesa, A.L., Pérez-López, M., Hernández, D., García, J.P., Fidalgo, L. E., López-Beceiro, A., Soler, F. (2007). *"Acetyl cholinesterase activity in seabirds affected by the Prestige oil spill on the Galician coast (NW Spain)"*. Science of the Total Environment 372, 532-538.

139. Parmesan, C., Yohe, G. (2003). *"A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural Systems"*. Nature. 42, 37-41.

140. Paoli, L., Pirintsos, S.A., Kotzabasis, K., Pisani, T., Navakoudis, E., Loppi, S. (2010). *"Effects of ammonia from livestock farming on lichen photosynthesis"*. Environmental Pollution 158, 2258-2265.

141. Phillips, D.J.H., (1980). "*The use of biological indicator organisms to monitor traces metal pollution in marine and estuarine environments*". A review. Environmental Pollution. 13, 281-317.

142. Piervittori, R., Maffei, S., (2001). *"The importance of indicator species in the biomonitoring of atmospheric pollution: a case of study in the city of Aosta; NW Italy"*. Cryptogrammic, Mycol., 22 (4): 297-310.

143. Pintado, A., Sancho, L. G. (2002). *"Ecological significance of net photosynthesis activation by water vapour uptake in* Ramalina capitata *from rain-protected habitats in central Spain"*. Lichenologist 32(5), 403-413.

144. Piñeiro-Iglesias, M., López Mahía, P., Muniastegui-Lorenzo, S., Prada-Rodríguez, D., Querol, X., Alastuey, A. (2003). *"A new method for the simultaneous determination of PAH and metals in samples of atmospheric particulate matter"*. Atmospheric Environment 37, 4171-4175.

145. Pitcairn, C.E.R., Fowler, D., Leith, I.D., Sheppard, L.J., Sutton, M.A., Kennedy, V., Okello, E. (2003). "*Bioindicators of enhanced nitrogen deposition*". Environmental Pollution. 126, 353–361.

146. Poblet, A., Andrade, S., Scagliola, M., Vodopivez, C., Curtosi, A., Pucci, A., Marcovecchio, J. (1997). *"The use of epilithic Antartic lichens (*Usnea aurantiacoatra *and* U. antartica*) to determine deposition patterns of heavy metals in the Shetland Islands, Antarctica"*. The Science of the Total Environment 207, 187-194.

147. Rautio, P., Huttunen, S. (2003). "*Total vs. internal element concentrations in Scots pine needles along a sulphur and metal pollution gradient*". Environmental Pollution. 122, 273–289.

148. Riba, I., Blasco, J., Jiménez-Tenorio, N., González de Canales, M. L., Ángel DelValls, T. (2008). *"Heavy metal bioavailability and effects: II. Histopathology–bioaccumulation relationships caused by mining activities in the Gulf of Cadiz (SW, Spain)".* Chemosphere 58, 671–682.

149. Richardson, D.H.S. (1999). "*War in the world of lichens: parasitism and symbiosis as exemplified by lichens and lichenicolous fungi".* Mycol. Res. 103 (6): 641-650.

150. Roldan-Tapia, L., Nieto-Escamez, F. A., del Águila, E. M., Laynez, F., Parron, T., Sánchez-Santed, F. (2006). *"Neuropsychological sequelae from acute poisoning and*

long-term exposure to carbamate and organophosphate pesticides". Neurotoxicology and Teratology 28, 694–703.

151. Romano, D., Bernetti, A., De Lauretis, R. (2004). "*Different methodologies to quantify uncertainties of air emissions*". Environment International. 30, 1099– 1107.

152. Rossbach, M., Jayasekera, R., Kneepad, G., Thing, N.H., (1999). "*Large escale air monitoring : lichen vs. air particule matter.*". Sci. Total Environ. 232, 59-66.

153. Rubio, C., Hardisson, A., Reguera, J.I., Revert, C., Lafuente, M.A., González-Iglesias, T. Article in Press. "*Cadmium dietary intake in the Canary Islands, Spain*". Environmental Research.

154. Rüling, A. (1994). "*Atmospheric Heavy Metal Deposition in Europe-Estimations based on Moss analysis*". NORD 9, Nordic Counsil of Ministers. AKA-Print, A/S, Arhus.

155 Sabin, L.D., Kozawa, K., Behrentz, E., Winer, A.M., Fitz, D.R. Pankratz, D.V., Colome, S.D., Fruin, S.A. (2005). "*Analysis of real-time variables affecting children's exposure to diesel-related pollutants during school bus commutes in Los Angeles*". Atmospheric Environment. 39, 5243–5254.

156. Saenz, M. T., García, M. D., Rowe, J. G. (2006). *"Antimicrobial activity and phytochemical Studies of some lichens from south of Spain"*. Fitoterapia 77, 156-159.

157. Safe, S (1975). "*Sterols of three lichen species:* Lobaria pulmonaria*,* Lobaria Scrobiculata *and* Usnea Longissima". Phytochemistry 14,1821.

158. Scerbo, R., Possenti, L., Lampugnani, L., Ristori, T., Barale, R., Barghigiani, C. (1999). *"Lichen* (Xanthoria parietina) *biomoritoring of trace element combination and air quality assessment in Livorno Province (Tuscany, Italy)"*. The Science of the Total Environment 241, 91-106.

159. Schettgen, T., Gube, M., Alt, A., Fromme, H., Kraus, T. (2011). *"Pilot Study on the exposure of the German general population to non-dioxin-like and dioxin-like PCBs"*. International Journal of Hygiene and Environmental Health 214, 319-325.

160. Schröder, W., Pesch, V. (2005). *"Time Series of Metals in Mosses and their Correlation with Selected Sampling Site-Specific and Ecoregional Characteristics in Germany".* Environmental Science and Pollution Research 12, 159-167.

161. Seaward, M.R.D. (1995). *"Use and abuse of heavy metal bioassays in environmental monitoring".* Science of the Total Environment. 176, 129-134.

162. Sims, I.R., Reynolds, P.J. (1999). *"Effects of Atmospheric Pollution on a* Lichenophagus Lepidopteran*"*. Ecotoxicology and Environmental Safety 42, 30-34.

163. Skeie, R. B., Fuglestvedt, J., Berntsen, T., Lund, M. T., Myhre, G., Rypdal, K. (2009). *"Global temperature change from the transport sectors: Historical development and future scenarios".* Atmospheric Environment 43, 6260–6270.

164. Slezakova, K., Castro, C., Pereira, M. C., Morais, S., Delerue-Matos, C., Alvim-Ferraz, M. C. (2009). *"Influence of tobacco smoke on carcinogenic PAH composition in indoor PM10 and PM2.5"*. Atmospheric Environment 43, 6376–6382.

165. Sloof, J.E. (1995). "*Lichens as quantitative monitors for atmospheric trace-element deposition, using transplants*". Atmospheric Environment 29, 11-20.

166. Smith, K. E. C., Jones, K. C. (1999). *"Particles and vegetation: implications for the transfer of particle-bound organic contaminants to vegetation"*. The Science of the Total Environment 246, 207-236.

167. Smidt, S., Herman, F. (2003). "*Evaluation of air pollution-related risks for Austrian mountain forests".* Environmental Pollution 130, 99-112.

168. Smodis, B., Jacimovic, R., Jeran, Z., Stprnik, B., Svetina, M. (2000). "*Use of nuclear and related analytical techniques in an environmental research as exemplified by selected air pollution studies*". IAEA.-TecDoc-1152, 173-183.

169. Sorimachia, A., Sakamotoa, K., Ishiharab, H., Fukuyamac, T., Utiyamac, M., Liud, H., Wangd, W., Tang, D., Donge, X., Quane, H. (2003). "*Measurements of sulphur dioxide and ozone dry deposition over short vegetation in China-a preliminary study*". Atmospheric Environment. 37, 3157-3166.

170. Stengel, D. B., Macken, A., Morrison, L., Morley, N. (2004). *"Zinc concentrations in marine microalgae and a lichen from western Ireland in relation to phylogenetic grouping, habitat and morphology"*. Marine Pollution Bulletin 48, 902-909.

171. Stern, A. C. (1977). *"Air Pollution. Vol. I. Air Pollutants, Their Transformation and Transport".* Third Edition. Academic Press, Inc. U.S.A.715 pp.

172. Stern, A. C. (1977). *"Air Pollution. Vol. II. The Effects of Air Pollution".* Third Edition. Academic Press, Inc. U.S.A. 684 pp.

173. Stöcker, G. (1980). "*Zu einigen theoretischen und metodischen. Aspekten der Bioindikation*". In: Schubert , R., Schuch, J. (Eds.) , Methodische und Theoretische Grundlangen der Bioindikation (Bioindikation1), Martin-Luther-Universität, Halle (Saale), GDR, pp. 10-21.

174. Strandberg, B., Hites, R.A. (2001). *"Concentration of organoclhorine pesticide in wine corks".*Chemosphere 44, 729-735.

175. Struck, B. D., Pelzer, R., Ostapczuk, P., Mohl, C. (1997). *"Statistical evaluation of ecosystem properties influencing the uptake of As, Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, and Zn in seaweed (*Fucus vesiculosus) *and common mussel (*Mytilus edulis)*"*. The Science of the Total Environment 207, 29-42.

176. Suter II, G. W. (2001). *"Applicability of indicator monitoring to ecological risk assessment".* Ecological Indicators 1, 101-112.

177. Szczepaniak, K., Boziul, M., (2003). "*Aspects of biomonitoring studies using mosses and lichens as indicators of metal pollution*". Environmental Research, 93, 221-230.

178. Taghi Mansouri, M., Cauli, O. (2009). "*Motor alterations induced by chronic lead exposure".* Environmental Toxicology and Pharmacology 27, 307–313.

179. Tausz, M., Trummer, W., Goessler, W., Wonish, A., Grill, D., Naumann, S., Jiménez, M.S., Morales, D. (2005). *"Accumulating pollutants In conifer needles on an Atlantic island-A case study with Pinus Canariensis on Tenerife, Canary Islands"*. Environmental Pollution 136, 397-407.

180. Tonneijk, A.E.G., Posthumus, A.C., (2000). "·*Use of indicators plants for biological monitoring off effects of air pollution. The Dutch approach.*" VDI Ber. 609, 205-216.

181. Toyooka, T., Ibuki, Y. (2007). "*DNA damage induced by co exposure to PAH´s and light".* Environmental Toxicology and Pharmacology 23, 256–263.

182. Ugur, A., Özden, B., Saç, M. M., Yener, G. (2003). *"Biomonitoring of ^{210}Po and ^{210}Pb using lichens and mosses around an uraniferous coal-fired power plant in western Turkey"*. Atmospheric Environment 37, 2237-2245.

183. Unal, A., Hu, Y., Chang, M. E., Talat Odman, M., Russell, A.G., (2005). "*Airport related emissions and impacts on air quality: Application to the Atlanta International Airport*". Atmospheric Environment. 39, 5787–5798.

184. Vahter, M., Berglund, M., *Acheson*, A., Liden, C. (2002). "*Metals and Women's Health".* Environmental Research Section A. 88, 145-155.

185. Valladares, F., Sancho, L. G., Ascaso, C. (1996). *"Functional analysis of the intrathalline and intracellular chlorophyll concentrations in the lichen family* Umbilicariaceae*".* Annals of Botany 78, 471-477.

186. Van Dobben, H. F., Ter Braak, J. F. (1998). *"Effects of Atmospheric NH_3 on epiphytic lichens in the Netherlands: The Pitfalls of biological monitoring"*. Atmospheric Environments Vol. 32, No. 1, 551-557.

187. Van Herk, C. M. (2001). *"Bark pH and susceptibility to toxic air pollutants as independent causes of changes in epiphytic lichen composition in space and time"*. Lichenologist 33(5), 419-441.

188. Vargas Marcos, F. (2005). *"La Contaminación Ambiental Como Factor Determinante De La Salud"* Rev. Esp. Salud Pública 79, 117-127.

189. Velázquez de Castro, F. (2005). "*Cambio Climático Y Protocolo De Kioto. Ciencia Y Estrategias. Compromisos Para España"*. Rev. Esp. Salud Pública 79, 191-201.

190. Vermeulen, F., Van den Brink, N. W., D'Have, H., Mubiana, V. K., Blust, R., Bervoets, L., De Coen, W. (2009). *"Habitat type-based bioaccumulation and risk assessment of metal and As contamination in earthworms, beetles and woodlice"*. Environmental Pollution, 3098–3105.

191. Viana, M., Querol, X., Alastuey, A., Cuevas, E., Rodríguez, S. (2002). "*Influence of African dust on the levels of atmospheric particulates in the Canary Islands air quality network"*. Atmospheric Environment 36, 5861-5875.

192. Vives, I., Grimalt, J. O., Ventura, M., Catalan, J., Rosseland, B. O. (2005). *"Age dependence of the accumulation of organochlorine pollutants in brown trout* (Salmo trutta) *from a remote high mountain lake (Redó, Pyrenees)".* Environmental Pollution 133, 343-350.

193. Wade, A.E., (1965). *"The genus caloplaca th. Fr. In the British Isles".* British Lichen Society. The Lichenologist 3, 1-28.

194. Wallberg, P., Moberg, L. (2002). "*Evaluation of 20 years of environmental monitoring data around Swedish nuclear installations*". Journal of Environmental Radioactivity. 63, 117-133.

195. Wang, Z., Ma, X., Lin, Z., Ding, Q., Yao, Z. (2009). *"Correlations between physicochemical properties of PAHs and their distribution in soil, moss and reindeer dung at Ny-ºAlesund of the Arctic".* Environmental Pollution 157, 3132-3136.

196. Wannaz, E. D., Carreras, H. A., Pérez, C.A., Pignata, M. L. (2006). "*Assessment of heavy metal accumulation in two species of Tillandsia in relation to atmospheric emission sources in Argentina".* Science of the Total Environment 361, 267–278.

197. Wenzel, K.D., Manz, M., Schüürmann, G. (2002). *"Fate of POPs, DDX, Ochs, PCB´s in upper soil layers of pine forests".* The Science of the Total Environment 286,143-154.

198. Waterbuck, H. T., Bode, P. (1995). *"Strategies in sampling and sample handling in the context of large-scale plant biomonitoring surveys of trace element air pollution*."
The Science of the Total Environment. 176, 33-43.

199. Weltered, H. Th., Bode, P., Overberg, T.G. (1996). *"Assessing the quality of biomonitoring via signal-to-noise ratio analysis"*. Science of Total Environment 180, 107-116.

200. Wolterbeek, B. (2002). "Biomonitoring *of trace air pollution: principles, possibilities and perspectives"* .Environmental Pollution. 120, 11-21.

201. Wu, S. P., Tao, S., Xu, F.L. Dawson, R., Lan, T., Li, B.G., Cao, J. (2005). "*Polycyclic aromatic hydrocarbons in dust fall in Tianjin, China*". Science of the Total Environment. 345, 115– 126.

202. Yogui, G.T., Sericano, J. L. (2008). "*Polybrominated diphenyl ether flame retardants in lichens and mosses from King George Island, maritime Antarctica".* Chemosphere 73, 1589–1593.

203. Zhang, L., Wright, L.P., Blanchard, P. (2009). "*A review of current knowledge concerning dry deposition of atmospheric mercury*". Atmospheric Environment 43, 5853–5864.

ANEXOS

ANEXO 1:

ESPECIES DE LÍQUENES ESTUDIADAS

1. *Caloplaca ferruginea.*

Liquen de distribución mundial caracterizado por su color naranja oscuro que destaca en las rocas sobre las que se desarrolla. Forma areolas de límites lobulados y bien definidos que pueden llegar a unirse y solaparse a las formadas por otras especies adyacentes ocupando grandes extensiones de roca. Las areolas que forman el talo se encuentran surcadas por profundas grietas que proporcionan un inconfundible aspecto a esta especie.

De Orden: *Teloschistales* y Familia: *Teloschistaceae* , tiene un crecimiento crustáceo, posee talos grises y verdes pálidos con grandes y brillantes apotecios rojo-naranja, que dan un color púrpura cuando reaccionan con hidróxido de potasio y la peculiar estructura de sus esporas, que son polariloculadas, excepto en el caso de *C. Novalis.* Aunque, algunas veces, puede presentarse como epífitico en arces y avellanos, y también en cortezas de otros árboles. Se desarrolla usualmente en rocas calcáreas o costeras.

Zahlbruckner (1926) y Watson (1953) localizaron el género en la familia de las *Caloplacaceae,* pero como mostró Almborn (1963), el límite entre esa familia y la de las *Teloschistaceae* es muy tenue y pueden unirse entre sí.

Las crustáceas o de talo escuamulosos, se distinguen de los Géneros *Xanthoria* y *Teloschistes,* que poseen esporas similares pero que son foliosas y fructiculosas respectivamente.

Aún así, es fácil de confundir con el liquen *Xanthoria elegans* de color más rojizo. El color naranja de esta especie se debe a la presencia en el talo de la sustancia *parietina* una quinona presente también en diversas especies de Xanthoria. [55].

A1. Caloplaca ferrugínea.

2. *Lecanora sp.*

Líquen de talo crustáceo a placoide, raras veces fruticoso, con corteza, de varios colores. Fotobionte: clorofíceas. Apotecios lecanorinos, de varios colores (pardo, gris, rojos, etc.). Ascosporas: simples, hialinas.

Crece sobre varios sustratos (corteza, madera, rocas, etc.); en micrositios abiertos a semiabiertos (orillas de senderos y caminos, áreas de pastoreo, vegetación secundaria y plantaciones). En vegetación húmeda de elevaciones medias a altas y de ubicación cosmopolita.

Lecanora es un género de ascomicetos liquenizados, con un número estimado de 300 especies.[24].

A2. *Lecanora sp.*

3. *Lepraria incana.*

Liquen crustáceo que forma rosetas regulares o manchas irregulares de más de 3 cm de diámetro. Se adhiere bien al sustrato, no posee lóbulos verdaderos, pero a veces tiene sublóbulos obscuros. En la superficie puede observarse un tinte grisáceo con tonos de azul, de textura rugosa con soredios compuestos. Soredios de tamaño variable de alrededor de 0,2 mm anchura alrededor de los talos, sin o con pequeñas hifas de más de 40 µm de longitud.

Produce como metabolitos secundarios la atranorina y el ácido rangifórmico. Se ubica geográficamente en todo el mundo, pero su mayor diversidad se presenta en lugares fríos y áreas boreales. Se localiza en zonas rocosas expuestas al sol, frecuentemente en caras verticales. Su mayor distribución se encuentra en Europa y Norte América.

A3. ***Lepraria spp.***

A4.. *Lepraria incana.*

4. *Rhizocarpon geographicum.*

Es una especie de liquen crustáceo caracterizado por tener un patrón de crecimiento en paredes rocosas muy particular que recuerda un mapa. El talo de este liquen se encuentra fuertemente unido al sustrato sobre el que crece; forma areolas con los bordes bien delimitados que pueden llegar a confluir con los de otros líquenes similares.

Los colores característicos de estas especies son amarillos y pardos y es posible observar en los bordes de la areola zonas más oscuras correspondientes a los esporangios. Los esporangios de estas especies son del tipo peritecio formados por el hongo ascomycota formador de la simbiosis.

Este liquen vive en todo tipo de hábitats, desde zonas montañosas libres de polución hasta zonas costeras. Es una especie muy sensible a la condición ambiental y usada frecuentemente cono bioindicador de la calidad del aire. En estos ecosistemas el liquen crece muy lentamente y puede ser utilizado por la liquenología para calcular edades relativas de exposición de un sustrato al medio externo; la liquenometría se basa en el cálculo teórico de la edad de líquenes de crecimiento lento, en especial *Rhizocarpon geograficum*, a partir del diámetro de su talo para dar una edad mínima a la roca sobre la que crece, en el caso de este liquen apenas 0.2 milímetros al año de media.

Se le conoce como liquen geográfico por su similitud con el mapa de un país imaginario ilustrado sobre la superficie de la roca.

A5. Rhizocarpon geographicum.

5. *Stereocaulon vesubianum.*

En los sustratos derivados de la actividad volcánica reciente (campos de lava y malpaíses recientes, campos de cenizas, depósitos de lapilli, túneles de lava y fumarolas) típicos de las Islas Canarias, La actividad volcánica libera sus productos en forma de rocas y mantos de distinta consistencia.

Los sustratos jóvenes resultantes suelen ser ricos en nutrientes, pero, en contrapartida, bastante limitados en cuanto a retención hídrica. Esto motiva su colonización por una flora muy característica adaptada a la sequía, dominada sobre todo por líquenes y plantas carnosas**,** capaces de acumular

la humedad en sus hojas y tallos. Son formaciones vegetales pioneras con alto nivel de endemicidad debido a la particularidad del sustrato y al aislamiento que impone el hecho insular. [78].

Entre los líquenes hay que destacar el muy extendido *Stereocaulon vesubianum* y varias especies de los géneros *Ramalina* y *Porina.* [111]. En las cumbres de Tenerife destaca la comunidad de *Viola cheiranthifolia*, colonizadora de depósitos de lapilli o pedregales volcánicos; en La Palma *Viola palmensis* ocupa la misma posición ecológica. En los campos de lava más recientes, como los malpaíses de Lanzarote, la cobertura se reduce prácticamente a comunidades presididas por líquenes. (Ministerio de Medio Ambiente de España).

A6*. Stereocaulon vesubianum.*

6. ***Verrucaria maura.***

Liquen crustáceo que forma una delgada capa, de color negro mate en la superficie de las rocas. Los cuerpos reproductivos o peritecios pueden estar presentes como pequeños puntos negros. Con aumento, puede observarse que su superficie parece cubierta por partículas finas parecidas al polvo. Cubre largas áreas y se adhiere firmemente al sustrato. De color típicamente negro, fácilmente confundible con restos de petróleo. [81].

A7. Verrucaria maura.

7. *Xanthoria parietina.*

Conocido como “liquen de los muros”, de la Familia de las *Telosquistáceas* y de Clase *Ascomicetes* (liquenizados). Su talo presenta un aspecto membranoso y foliáceo, constituido por lóbulos muy profundos, imbricados a menudo de forma cóncava y con el borde entero o provisto de una pequeña escotadura. Pero el carácter más llamativo del talo es su color, que varía entre el amarillo vivo y el amarillo anaranjado.

Las estructuras donde se producen las esporas tienen forma de copa con el disco central ligeramente hundido y el borde muy marcado. Las esporas que producen son incoloras y van provistas de una membrana muy gruesa. La multiplicación se lleva a cabo generalmente a partir de fragmentos del liquen constituidos por células del alga envueltas por filamentos micélicos del hongo, que al ser diseminados por el viento y encontrar el sustrato adecuado dan lugar a un nuevo liquen.

Es muy abundante en todo el mundo, crece con gran profusión sobre la corteza de los árboles, sobre rocas, paredes, techumbres o en cualquier parte, pero especialmente en aquellos lugares donde el aire contenga polvo rico en sales minerales.

Además de todas las características nombradas, este liquen es muy sensible a la contaminación ambiental, por lo que un estudio de la abundancia o escasez de ejemplares, así como de las diferencias de tamaño que se producen en el talo se emplean frecuentemente para detectar variaciones en el grado de contaminación de la zona.

A8. Xanthoria parietina.

8. *Parmelia sp.*

Tienen unos lóbulos anchos con soralios verde amarillentos, granulares y situados en la parte central, en ocasiones excepcionales presenta grandes apotecios en forma de disco de color pardo rojizo y con un reborde prominente.

La cara inferior no tiene ricinas en los bordes. Es muy abundante en los bosques de regiones templadas, con elevada humedad, crece sobre madera y rocas.

A9*. Parmelia sp.*

9. *Usnea sp.*

Nombre botánico de varias especies de líquenes de la familia *Usneaceae*, que generalmente crecen colgando de ramas de árboles, pareciendo cabellos grises o verdosos. Luce muy similar al musgo español *Tillandsia usneoides*; tan es así, que el nombre en latín es derivado de (*Tillandsia usneoides*, el 'Usnea-como Tillandsia').

Crece en bosques densos de todo el mundo. Como otros líquenes, hace simbiosis de un hongo con una alga. El hongo es un *Ascolichen*.

En la monografía de Józef Motyka de 1947 se distinguen 451 especies. Muchas de ellas actualmente, no tienen la categorización taxonómica aún resuelta. El número de spp. reconocidas en Finlandia ha decrecido por esta razón, de 34 en 1951

a 25 en 1963 y solo 12 en 2000. Aunque siguen existiendo más de 600 especies, es el género más grande de las *Parmeliaceae.*

Es muy sensible a la contaminacion del aire, especialmente al dióxido de azufre. En malas condiciones crecen muy poco; no más de pocos milímetros/año. Donde el aire está limpio, pueden crecer 1-2 dm/año de longitud.

Ha sido usado en medicina por al menos un milenio. El ácido úsnico ($C_{18}H_{16}O_7$), potente antibiótico y agente antimicótico ha sido encontrado en muchas especies. Esto, combinado con la estructura filamentosa del liquen, hace que se utilice mucho al liquen. El líquen *Usnea* se usa para desinfectar superficies, cuando no hay nada estéril ni antibióticos modernos.

A10*. Usnea spp.*

10. *Lobaria pulmonaria.*

Es un gran liquen epifítico que consiste en un hongo ascomicete y una alga verde viviendo simbióticamente con una cianobacteria. Simbiosis que envuelve a tres reinos. Comúnmente conocido por varios nombres como pulmón de árbol, liquen pulmón u hongo pulmón.

Es muy sensible a la contaminación atmosférica y se ve afectado por cambios en la vegetación debido a su pérdida de hábitat, su disminución en Europa, lo ha convertido en una especie protegida.

Las especies tienen un largo historial en medicina tradicional e investigaciones recientes han corroborado las propiedades medicinales de los extractos liquénicos.

Es un liquen foliáceo con talo verde, coriáceo y de forma lobular con un patrón de crestas y depresiones en su superficie externa. De color verde brillante bajo condiciones húmedas, se vuelve marrón y quebradiza, cuando se seca.

Estas especies poseen una fina capa de vellos, (tomentum) en su superficie inferior. El córtex, la capa superior protectora en la superficie del talo, es casi comparable a la epidermis de las plantas verdes. El talo tiene un diámetro de 5-15 cm, con lóbulos individuales de 1-3 cm de anchura y más de 7 cm de largo.

Las estructuras reproductivas asexuales soredios e isidios se encuentran presentes en la superficie del talo. También se encuentran presentes paquetes de cianobacterias en la parte inferior del talo. Cómo en otros líquenes foliáceos, el talo se encuentra ligeramente adherido a la superficie en la cuál crece.

Liquen que florece todo el año, produce como principios activos: ácido estictínico (de estructura próxima al ácido cetrárico) y mucílagos. A los principios amargos se les atribuye su efecto aperitivo, eupéptico, colagogo, antiemético, bacteriostático y antifúngico. A los mucílagos, aunque presentes en escasa cantidad, se les reconoce acción como demulcente y balsámico.

Se ha empleado desde tiempos antiguos para combatir problemas bronquiales, anorexia, gastroenteritis, dispepsias hipo secretoras, disquinesias hepatobiliares, úlcera gastroduodenal. Externamente: abscesos, heridas y quemaduras. .

También pueden estar presentes varios esteroides cómo el egosterol, episterol, fecosterol y liquesterol. [157].

L. pulmonaria ha sido también utilizado para producir tintes naranja para teñir madera, pieles y en la manufactura de perfumes y como ingrediente en la elaboración de cerveza. [103].

Lobaria pulmonaria ha sido utilizado ampliamente para el tratamiento de varias enfermedades como el eczema, enfermedades respiratorias, pulmonares y artritis. [135].

A11. Lobaria pulmonaria.

En la Estación 10, Pico de las Nieves, se estudiaron tres muestras diferentes de los géneros *Parmelia, Lobaria* y *Usnea.*

A12. Líquenes epifíticos del Pico de las Nieves.

ANEXO 2:

HAP´S Y COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES

1. Compuestos Orgánicos Persistentes, COP´s.

Recientemente se ha establecido una lista de compuestos que involucra a compuestos representativos de los mencionados anteriormente, como **Compuestos Orgánicos Persistentes COP´s,** con el fin de agrupar aquellos que se consideran más perjudiciales para el medio ambiente.

Los contaminantes orgánicos persistentes (COP´s) son mezclas y compuestos químicos a base de carbono que incluyen químicos industriales como los PCB´s, plaguicidas como el DDT y residuos no deseados como las dioxinas. Son principalmente productos y subproductos de la actividad industrial, de origen relativamente reciente.

Los COP´s liberados al ambiente pueden viajar a través del aire y el agua hacia regiones muy distantes de su fuente original. Los COP´s pueden concentrarse en los organismos vivos, incluidos los humanos, hasta niveles que pueden dañar la salud y/o el ambiente, aún en regiones muy lejanas de donde son usados o emitidos.

Se dice que son persistentes porque permanecen mucho tiempo en el ambiente, incluso decenas de años, resistiendo la degradación por el sol, degradación química y degradación por microorganismos.

Otra de sus características es que son bioacumulables, es decir, se acumulan en los tejidos grasos de los organismos. Se biomagnifican, aumentan su concentración en cientos o hasta millones de veces a medida que van subiendo en las cadenas alimenticias.

Se dispersan ampliamente en el medio ambiente, a través del viento, ríos y corrientes marinas, trasladándose a todas partes del planeta. Se han encontrado en el agua, suelo, sedimentos, animales y personas, incluso en el Ártico y en lugares muy alejados de donde originalmente fueron liberados. [106].

Algunos COP´s, en concentraciones extraordinariamente bajas, pueden alterar funciones biológicas normales, incluyendo la actividad natural de las hormonas y otros mensajeros químicos y dispara una serie de efectos potencialmente dañinos.

2. Lista de los 12 COP´s.

Una reunión previa del Consejo de Administración del PNUMA (Programa de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente) en 1995, identificó una lista de 12 COP´s (Compuestos Orgánicos Persistentes) como sustancias que generaban una clara preocupación debido a su elevada toxicidad y que debían vigilarse y prevenirse.

1. *Hexaclorobenceno (HCB):*

Fungicida usado para el tratamiento de semillas de trigo, cebolla, sorgo, etc. Se encuentra como impureza en varias formulaciones de plaguicidas. También es un producto industrial secundario.

2. *Endrín:*

Insecticida usado principalmente en campos de cosechas de algodón y granos. Usado como raticida para controlar ratones y topos. También usado para combatir aves.

3. *Mirex:*

Insecticida estomacal usado para combatir hormigas desfoliadoras, termitas, hormigas arrieras. También usado como retardador de fuego en plásticos, caucho, materiales eléctricos.

4. *Toxáfeno*:

Una mezcla de más de 670 sustancias químicas, es usada como insecticida principalmente en el control de insectos de algodón y otros cultivos. Además es usado en el control de garrapatas y ácaros en el ganado y matar peces indeseables en lagos.

5. *Clordano:*

Insecticida de contacto de amplio espectro, usado en cultivos agrícolas incluyendo vegetales, granos pequeños, maíz, papas, caña de azúcar, frutas, nueces, cítricos, algodón y yute. Usado en céspedes residenciales y jardines. También usado en el control de termitas.

6. *Heptacloro:*

Insecticida estomacal y de contacto, usado principalmente contra insectos de suelo y termitas. También se usa contra insectos de algodón, saltamontes, algunas plagas de cultivos y para combatir el paludismo.

7. *DDT:*

Insecticida usado en cultivos agrícolas, particularmente algodón. Actualmente se usa especialmente como control de vectores y en países en vías de desarrollo.

8. *Aldrin y Dieldrin*:

Insecticidas usados en cultivos de maíz, papas y algodón. También usado para el control de termitas.

9. *Bifenilo Policlorados (PCB´s):*

Utilizados en una variedad de usos industriales, incluyendo transformadores eléctricos y fluidos de intercambio de calor, aditivos para pintura, en papel para copias sin carbón y en plásticos.

10. *Hexaclorobenceno (HCB):*

Una sustancia química industrial utilizada para hacer fuegos artificiales, municiones y caucho sintético. También es un producto secundario de la manufactura de sustancias químicas industriales incluyendo el tetracloruro de carbono, percloretileno, tricoloetileno y pentaclorobenceno.

11. *Dioxinas:*

No son producidas comercialmente de manera intencional y no se sabe que tengan ningún uso. Son los productos secundarios resultantes de la producción de otras sustancias químicas, como plaguicidas, cloruro de polivinilo y otros solventes clorados.

12. *Furanos:*

Uno de los contaminantes principales de los PCB´s. Producto secundario frecuentemente enlazado a la dioxina. Son de hecho un grupo consiste de 115 congéneres con los mismos efectos biológicos que las dioxinas, pero menos potentes.

El PCB y el HCB son sustancias químicas industriales que se utilizan con varios fines, las dioxinas y furanos son productos secundarios que se forman como resultantes de la producción de otros químicos, y los 8 restantes son utilizados como plaguicidas organoclorados.

A continuación se muestran en una tabla los compuestos orgánicos persistentes analizados en el presente estudio.

Pesticida	Familia	Número CAS
4,4'-DDD	Organoclorado	72-54-8
4,4'-DDE	Organoclorado	72-55-9
4,4'-DDT	Organoclorado	50-29-3
Aldrín	Organoclorado	309-00-2
Azinphos Ethyl	Organofosforado	2642-71-9
Azinphos Methyl	Organofosforado	86-50-0
Benfuracarb	Carbamato	82560-54-1
Bromophos Ethyl	Organofosforado	4824-78-6
Bromophos Methyl	Organofosforado	2104-96-3
Cadusafos	Organofosforado	95465-99-9
Carbophenothion	Organofosforado	786-19-6
Carbofuran	Carbamato	1563-66-2
Chlorfenvinphos	Organofosforado	470-90-6
Chlorpyrifos	Organofosforado	2921-88-2
Chlorpyrifos Methyl	Organofosforado	5598-13-0
Diazinon	Organofosforado	333-41-5
Dichlofenthion	Organofosforado	97-17-6
Dichlorvos	Organofosforado	62-73-7
Dieldrín	Organoclorado	60-57-1
Endosulfán-Alpha	Organoclorado	959-98-8
Endosulfán-Beta	Organoclorado	33213-65-9
Endosulfán-Sulfate	Organoclorado	1031-07-8
Endrín	Organoclorado	72-20-8
Ethion	Organofosforado	563-12-2
Ethoprophos	Organofosforado	13194-48-4

Pesticida	Familia	Número CAS
Etrimfos	Organofosforado	38260-54-7
Fenamiphos	Organofosforado	22224-92-6
Fenchlorphos	Organofosforado	299-84-3
Fonofos	Organofosforado	944-22-9
HCH-Alpha	Organoclorado	319-84-6
HCH-Beta	Organoclorado	319-85-7
HCH-delta	Organoclorado	319-86-8
HCH-Gamma	Organoclorado	58-89-9
Heptachlor	Organoclorado	76-44-8
Heptachlor-endo-epoxido	Organoclorado	213-831-0
Linuron	Urea	330-55-2
Malathion	Organofosforado	121-75-5
Methacrifos	Organofosforado	62610-77-9
Methoxychlor	Organoclorado	72-43-5
Methidathion	Organofosforado	950-37-8
Pyrimiphos Ethyl	Organofosforado	23505-41-1
Pyrimiphos Methyl	Organofosforado	29232-93-7
Propetamphos	Organofosforado	31218-83-4
Propyzamide	Benzamida	23950-58-5
Sulfotep	Organofosforado	3689-24-5
Tetrachlorvinphos	Organofosforado	22248-79-9

A13. Pesticidas analizados.

Compuesto	Familia	Numero CAS
PCB 28	PCB	7012-37-5
PCB 31	PCB	16606-02-3
PCB 52	PCB	35693-99-3
PCB 77	PCB	32598-13-3
PCB 101	PCB	37680-73-2
PCB 105	PCB	32598-14-4
PCB 118	PCB	31508-00-6
PCB 126	PCB	57465-28-8
PCB 128	PCB	38380-07-3
PCB 138	PCB	35065-28-2
PCB 153	PCB	35065-27-1
PCB 156	PCB	38380-08-4
PCB 169	PCB	32774-16-6
PCB 170	PCB	35065-30-6
PCB180	PCB	35065-29-3

A14. PCB´s analizados.

ANEXO 3:

PROCEDIMIENTOS

Procedimientos.

A continuación, se describen los procedimientos utilizados para determinar los contaminantes de interés para el estudio. Se debe tener en cuenta que se deben hacer modificaciones para el análisis de muestras sólidas cuándo sea necesario, en aquellos que estén diseñandos para analizar muestras líquidas.

1. Clorofila y Feofitina en líquenes.

1.1. Fundamento.

La concentración de pigmentos fotosintéticos se utiliza ampliamente para calcular la biomasa del fitoplancton. Todas las plantas verdes contienen clorofila *a*, que constituye aproximadamente del 1 al 2 % del peso seco de las algas planctónicas. Otros pigmentos presentes en el fitoplancton incluyen a las clorofilas *b* y *c*, xantófilas, ficobilinas y carotenos. Los productos importantes de degradación de la clorofila encontrados en el medio acuático son los clorofílicos, feofórbidos y las feofitinas. La presencia o ausencia de los distintos pigmentos fotosintéticos, se utiliza, entre otras características, para separar los principales grupos de algas. Esta clorofila varía con la especie o grupos taxonómicos, siendo afectada por la edad, rango de crecimiento, condiciones de nutrientes y luminosidad (luz).

Un pigmento es cualquier sustancia que absorbe luz y su color resulta de la longitud de onda de la luz reflejada, en otras palabras, la luz no absorbida. El pigmento verde común a todas las células fotosintéticas absorbe todas las longitudes de onda de la luz visible, excepto el verde, el cual es reflejado para poder ser detectado por nuestros ojos; los pigmentos negros absorben todas las longitudes de onda que llegan a ellos y los pigmentos blancos y los colores claros reflejan toda o casi toda la energía que llega a ellos. Teniendo en cuenta todo esto, los pigmentos tienen su característico y propio espectro de absorción.

Se considera que la clorofila *a* es la más importante, debido a que es el pigmento fotosintético fundamental que no falta en ninguna alga ni planta superior. (las demás clases de clorofila suelen ser denominadas accesorios). Por lo anterior, la cantidad de clorofila-*a* puede representar la actividad biológica y a través de la misma se puede inferir sobre procesos más complejos que ocurren en el ambiente biológico.

La clorofila *a* absorbe su energía de las longitudes de onda Violeta–Azul y Rojo-Naranja, y un poco de las longitudes de onda intermedias (Verde-Amarillo-Naranja); también absorbe en el extremo Naranja-Rojo del espectro (con longitudes de onda mayores y menor energía).

La clorofila únicamente dispara una reacción química cuando se asocia a ciertas proteínas embebidas en la membrana (como en el cloroplasto) o en los pliegues interiores encontrados en los procariotes fotosintéticos como las cianobacterias y las proclorobacterias. Muestra un máximo de absorción en la región del azul y el violeta entre los 429 nm y 453 nm respectivamente, y un menor en 410 nm y 430 nm. Además de la absorción en la región azul-violeta presenta un pico de absorción en la región del rojo entre los 642 nm y 660 nm.

Hay tres métodos para determinar la clorofila *a* del fitoplancton: el espectrofotométrico, el fluorimétrico y la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). La fluorometría es más sensible que la espectrometría, requiere menos muestra y se puede utilizar para determinaciones *in vivo*.

Estos métodos pueden infra o supraestimar las concentraciones de clorofila *a* de forma significativa debido en parte a la superposición de las bandas de absorción y fluorescencia de pigmentos accesorios coexistentes y productos de degradación de la clorofila.

Feofórbido *a* y feofitina *a*, que son dos productos frecuentes procedentes de la degradación de la clorofila *a*, pueden interferir en la determinación de la clorofila *a* por absorber luz y producir fluorescencia en la misma región del espectro que la clorofila *a*. Sí estos feopigmentos están presentes, resultaran importantes errores en los valores

de la clorofila *a*. Los feopigmentos se pueden medir por espectrofotometría o fluorometría, pero en medios marinos y de agua dulce, el método fluoro métrico no es fiable cuando aparece clorofila *b* simultáneamente.

Al acidificar la clorofila *b*, la emisión resultante de fluorescencia de feofitina *b*, coincide con la de feofitina *a*, produciendo así una sobreestimación de clorofila *a* y feopigmentos, respectivamente.

El estudio de la clorofila por el método espectrofotométrico que será el descrito, comprende los siguientes pasos: **extracción de pigmentos** y **determinación espectrofotométrica**. (Método modificado para líquenes por el equipo de investigación de CAFMA. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España.) Método 10200 H. (Métodos Normalizados para el análisis de Aguas Potables y Residuales.). [120].

2. Nitrógeno y Azufre.

Este método nos permite cuantificar la contaminación atmosférica ocasionada por **NO_x y SO_2**. El método analítico está basado en la completa e instantánea oxidación de la muestra por combustión tipo flash que convierte todas las sustancias orgánicas e inorgánicas en productos de combustión. [74].

Los gases resultantes de la combustión pasan a través de un horno reductor y de una columna cromatográfica mediante el gas portador (helio). En la columna son separados y detectados por un detector de conductividad térmica (TCD). El detector da una señal proporcional a la concentración de los componentes individuales de la muestra.

Existen diferentes técnicas para la determinación de C H N, C H N S y para la determinación de oxígeno.

2.1. Determinación de C, H, N y C, H, N, S.

La técnica usada para la determinación de C H N y C H N S, está basada en el método cuantitativo de combustión de Flash Dinámica.

Las muestras son pesadas en un recipiente de estaño, una cápsula, colocadas en el auto-muestreador, donde son purgadas con un flujo continuo de helio y , entonces caen a intervalos en el tubo vertical de cuarzo mantenido a 1020 ºC (reactor de combustión).

Cuando las muestras caen dentro del horno, el vapor de helio es temporalmente enriquecido con oxígeno puro y en la muestra y su cápsula de estaño se provoca una reacción violenta (Combustión Flash) en una atmósfera enriquecida de oxígeno. Bajo estas condiciones favorables, incluso las sustancias resistentes térmicamente son completamente oxidadas.

Se consigue la combustión cuantitativa pasando la mezcla de gases sobre una capa de catalizador.

La mezcla de los gases de combustión pasa a través de cobre para eliminar el exceso de oxígeno y reducir los óxidos de nitrógeno (NO_x) a nitrógeno elemental (N_2).

La mezcla resultante se lleva a la columna cromatográfica (rellena de Porapak PQS) donde se separan los componentes individuales y se eluyen como N_2, CO_2, H_2O y SO_2. Con la ayuda del detector de conductividad térmica, cuya señal va a un registrador potenciométrico o a un integrador.

El instrumento se calibra analizando compuestos estándar y utilizando el cálculo de factores K, o el método de Regresión Lineal.

2.2. Descripción del analizador elemental EA 1108.

El analizador elemental EA 1108 tiene la configuración C H N S-o: puede realizar análisis de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre en un solo análisis y

alternativamente puede determinar oxígeno en un segundo análisis de muestra cambiando la columna que funciona como reactor.

2.2.1. Especificaciones técnicas.

- Elementos: C H N S y/o O
- Rango de medida: 100 ppm al 100%
- Límite de detección: 10 ppm
- Exactitud: < 0,3 % absoluto
- Repetibilidad: <0,2 % absoluto
- Cantidad de muestra sólida/líquida en cápsulas: 0,1 a 100 mg
- Cantidad de muestra líquida (inyección directa): 0,1 a 25 µl
- Tiempo de análisis:

  C H N S: < 12 minutos

  C H N : < 7 minutos

  O: < 5 minutos

- Detector: Conductividad Térmica.
- Requisitos de gas:

  He (flujo de funcionamiento): 100 ml/min

He (flujo en Stand by):	5-10 ml/min
O_2 (vol. Del loop dosificador):	10 ml/min
Aire comprimido:	350 Kpa

2.2.2. Reactores y filtros adsorbentes.

Los reactores de combustión se hacen en cuarzo opaco y su relleno depende del tipo de configuración analítica requerida. El analizador que se utiliza está configurado para analizar C, H, N, S y O.

2.3. Reactor para determinar C, H, N, S.

El tubo de reacción se divide en dos partes:

- Parte inferior: funciona como un tubo de reducción y está rellena con alambres de cobre puro reducido (en una altura de tubo de 80 mm) depositados sobre 2-3 mm de lana de cuarzo. Una segunda capa de lana de cuarzo de 20 mm separa el tubo de reducción del de combustión.

- Parte superior: rellena con anhídrido tungsténico o catalizador de oxidación hecho con Al_2O_3 + WO_3 hasta una altura de 100 mm seguida por una capa de 100 mm de lana de cuarzo.

El número de muestras que se pueden analizar sin cambiar el relleno del reactor depende de muchos factores como el tipo de muestra, el peso, etc. Para muestras orgánicas permite analizar unas 200-250 muestras.

2.4. Condiciones de trabajo.

2.4.1. Suministro de gases.

- Regular la presión de helio de oxígeno a 200-300 KPa y 100-150 KPa respectivamente en el mano-reductor de la bomba.

- Regular la presión de helio en el analizador (CARRIER) para que esté entre 50-100 KPa y el flujo de salida sea de 100 ml/min ± 10 %.

- Poner la presión de oxígeno a 100 KPa con el regulador de OXYGEN de forma que el flujo sea de 10-15 ml/min.

- Regulador en el analizador la presión de aire con el regulador SERVO AIR a 350-400 KPa. Se pueden utilizar otros gases inertes como gas de servicio con el único requerimiento de que no contengan impurezas.

2.4.2. Condiciones analíticas para la determinación de C, H, N, S.

Temperatura del horno de reacción izquierdo:	1000 ºC/1020 ºC
Temperatura del horno de reacción derecho:	500ºC (no usado)
Temperatura del horno cromatográfico:	60 ºC
Temperatura del filamento del detector:	190 ºC
Flujo de gas portador:	100 ml/min ± 10%
Tiempo de espera de la muestra:	8 – 15 seg. (depende del flujo de gas portador)
Tiempo total de un análisis:	9 – 12 min

2.5. Proceso de Combustión Dinámica Flash.

Es necesario comprobar todos los parámetros analíticos para la completa combustión de la muestra.

En el proceso de combustión, bajo condiciones dinámicas y utilizando cromatografía de gases para separar los gases de combustión, la muestra se debe quemar rápidamente y los productos han de ser arrastrados hacia la columna cromatográfica.

La literatura ofrece pocos ejemplos de combustión flash, donde una muestra orgánica envuelta en una lámina fina de metal oxidativo, Ej., estaño, se introduce en un reactor a 1020 ºC ± 10b ºC y habiendo oxígeno en cantidad suficiente, la oxidación de la cápsula y la combustión de la muestra ocurre de manera inmediata, produciendo un resplandor brillante.

La alta temperatura alcanzada *in situ* causa la oxidación de cualquier residuo carbonatado y de los gases incombustibles. El 85-90% de la oxidación se da durante la combustión flash.

En el caso de la determinación de oxígeno,

$$N_2 + CO + CH_4 + H_2$$

los gases pirolíticos son arrastrados al filtro relleno de ascarita y anhidrona y después a la columna cromatográfica. Los gases son eluídos en el siguiente orden:

$$H_2,\ N_2,\ CH_4,\ CO$$

En la combustión, lo que se produce primero es el fundido de la cápsula de estaño, después se oxida y simultáneamente la materia orgánica es quemada totalmente. El residuo orgánico de la cápsula no contiene nada de carbono, ni siquiera en el caso de que las muestras tuvieran metales, boro, fósforo o silicona. Las cápsulas de estaño se utilizan también para sustancias con bajo contenido en carbono, que no producen combustión flash.

Materiales refractarios como metales, nitratos, carburos, se han de mezclar con óxido de vanadio (V_2O_5) u óxido de plomo (Pb_3O_4), para asegurar la combustión completa, es por lo tanto, necesario seguir la combustión con una reacción catalítica a alta temperatura para asegurar la oxidación cuantitativa del gas y de los productos sólidos.

2.6. Preparación de muestras.

Uno de los principales parámetros en la determinación cuantitativa, es el grado de homogenización de la muestra, especialmente cuando se utilizan cantidades pequeñas de sustancias industriales o agrícolas que no sean del todo representativas.

Desde el punto de vista del analizador elemental, es posible tener muestras de los siguientes tipos:

1. Productos orgánicos/farmacéuticos: no es necesario realizar un pre-tratamiento ya que en principio son sustancias 100% homogéneas.

2. Combustibles: muestras líquidas/sólidas como carbón, requieren un peso de muestra de unos 3 a 15 mg con un tamaño de partícula entre 0,2-0,5 mm de diámetro.

3. Muestras de suelos, rocas, gravas, cereales, tabaco se han de triturar utilizando un cúter o un molinillo de bolas. El tamaño de muestra no debe ser superior a 10 mg.

4. Muestras proteicas y de grasas se han de homogeneizar utilizando la técnica de congelación, se adiciona nitrógeno líquido. La muestra queda quebradiza permitiendo una fácil pulverización. Es necesario un peso de muestra entre 10 y 50 mg.

Para todas las muestras que sean difíciles de homogenizar, esto se puede conseguir usando la técnica de congelación por nitrógeno líquido.

5. Análisis de trazas en metales, sólidos, silicatos requieren un peso de muestra entre 10 y 100 mg.

2.7. Procedimiento.

2.7.1. Ciclo analítico.

- Comprobar que todos los parámetros analíticos incluyendo temperatura de los reactores, temperatura del horno cromatográfico, presiones, flujos y tiempos son los correctos para el análisis a realizar.

- Comprobar que el automuestreador está cargado correctamente con las muestras a analizar.

- Pulsar RUN en el procesador de datos para iniciar el análisis.

- A continuación, se inyectará oxígeno dentro del reactor a través de la válvula bimática durante el periodo indicado en OXY INJ STOP.

- Después de transcurrido el tiempo indicado en SAMPLE START, la muestra cae en el reactor por desplazamiento del carrusel del auto-muestreador.

- La combustión flash tiene lugar a los pocos segundos de haber caído la muestra en el reactor.

- Después del tiempo establecido en SAMPLE STOP, el carrusel vuelve a su posición previa y la siguiente cápsula cae en la cavidad donde será purgada hasta que se inicie el próximo ciclo.

- Para analizar C, H, N, S, los gases de combustión con el agua y el exceso de oxígeno pasan a la parte inferior del reactor donde se retiene el exceso de oxígeno y los óxidos de nitrógeno pasan a N_2. El resultado pasa a la columna cromatográfica y se detectan con el detector de detección térmica, TCD.

2.7.2. Procedimiento para un análisis C, H, N, S.

1. Comprobar que no existen fugas en las líneas de helio de medida (M) ni en la referencia (R).

2. Regular los flujos de Helio a :

   100-120 ml/min → línea de medida
   30-40 ml/min → línea de referencia

3. Temperaturas:

   Reactores de combustión → 1000-1020 ºC
   Horno cromatográfico → 60 ºC

4. Comprobar que la combustión flash dinámica dura de 8 a 10 segundos cuando el flujo de helio M está entre 110-120 ml /min.

5. Comprobar la combustión flash con una cápsula de estaño vacía.

6. Comprobar la combustión flash con un compuesto orgánico estándar que ya venga incluido en el equipo del analizador (sulfanilamida).

7. Comprobar el porcentaje de concentración de área CO_2/N_2, CO_2/H_2O y CO_2/SO_2; ver que las relaciones son reproducibles (independientemente de la cantidad de muestra).

Si no se reproduce comprobar:

- Combustión
- Separación cromatográfica
- Desviación de la línea de base: máximo permitido 15-20 µV.seg
- Integración

8. Analizar sulfanilamida 2 o 3 veces si se va a usar el facto K para el cálculo de los porcentajes. Cada 5 o 6 análisis de muestra desconocida se ha de analizar un estándar.

Si se hacen cálculos de regresión lineal, la estandarización se ha de hacer desde 0,5 mg de muestra hasta 3 - 4 mg

2.8. Cálculos.

El analizador elemental EA 1108 usa factores de calibración, conocidos como factores K, para determinar la composición elemental de muestras desconocidas.

El factor K se determina para cada elemento, analizando un estándar orgánico de composición elemental conocida. El cálculo del factor K se realiza con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{K_i} = \frac{\%tiWS}{Ii}$$

Dónde:

$\%t_i$ = Porcentaje teórico del elemento i en el estándar

WS = Peso de estándar en miligramos

I_i = Área de integración del pico correspondiente al elemento i.

En muestras desconocidas, el porcentaje de cada elemento se calcula:

$$\% = \frac{IK}{W}$$

K = Factor promedio para cada elemento
I = Área de pico
W = Peso de muestra en miligramos.

2.8.1. Análisis de un blanco.

Es necesario para comprobar la correcta operación del instrumento. Para hacer esto proceder de la siguiente manera:

*Analizar una cápsula de estaño vacía.

*Las integraciones obtenidas se han de restar en los cálculos de factores y muestra.

Es posible, también, usar para los cálculos de composición elemental, el método de regresión lineal incorporado en la unidad EAGER 100

3. Metales.

3.1. Fundamento.

Se aplica para determinar contaminación procedente de combustibles fósiles.

3.2. Procedimiento.

Antes de proceder al tratamiento y determinación de las muestras, éstas deben estar completamente limpias de restos de corteza, tierra y otros sólidos que no sean líquenes, así como totalmente secas, para ello se colocarán en la estufa a 60 °C durante mínimo un día. Una vez completado este paso se procederá a pulverizar la muestra en un mortero adecuado.

La muestra, una vez seca y pulverizada se trata de la siguiente manera:

1. Se pesa aproximadamente 0,5 g de la muestra (dependiendo de la concentración de metales que contenga).

2. Una vez trasladado este peso a un vaso de precipitados de 100 ml, se le añaden 5 ml de HCl 1:1 por gramo de muestra y 1 ml/g de muestra de HNO_3 concentrado. Se lleva a 50 ml con agua destilada y se calienta en una manta calefactora hasta ebullición controlada, vigilando la muestra a intervalos de 5 a 10 minutos durante 90 minutos y procurando un volumen constante de 50 ml por adición de agua destilada.

3. Transcurrido este tiempo se enfría la muestra a temperatura ambiente y se ajusta el pH entre 3 y 5.

4. Una vez ajustado el pH, se procede al filtrado de la muestra sobre un filtro de 0,45 μ teniendo en cuenta que dicho filtro se colmata con facilidad; por lo tanto, se filtrarán pequeños volúmenes hasta la saturación del filtro, cambiándolo cuantas veces sea necesario con el fin de minimizar el tiempo de filtrado. Ha de tenerse en cuenta que hay que enjuagar el vaso de precipitado con el fin de arrastrar la mayor cantidad de muestra, pero a su vez, controlando el volumen de agua de lavado ya que el siguiente
punto es enrasar a 100 ml en un matraz aforado, corriéndose el riesgo de sobrepasar dicho volumen.

5. La muestra filtrada se traspasa a un matraz aforado de 100 ml, se enjuaga el matraz de filtración para arrastrar la mayor cantidad de muestra y se enrasa hasta dicho volumen.

6. Una vez homogenizada la muestra por sucesivas agitaciones del matraz, se traspasa a un recipiente adecuado para su posterior análisis por técnicas de absorción atómica adecuadas para la determinación de Níquel y Vanadio.

3.3. Absorción atómica.

La absorción atómica electrotérmica permite la valoración de la mayoría de elementos metálicos con sensibilidades y límites de detección de 20 a 1.000 veces superiores a los de las técnicas de llamas convencionales, sin extracción o concentración de la muestra. Este aumento de sensibilidad tiene su origen en el incremento del tiempo de permanencia de los átomos del estado base en el trayecto óptico, que es varias veces mayor que el de la absorción atómica con llama convencional.

Numerosos elementos pueden determinarse a concentraciones del orden de 1,0 μg/L. Otra de las ventajas la absorción atómica electrotérmica es que únicamente se necesita un pequeñísimo volumen de muestra. (Métodos Normalizados para el análisis de Aguas Potables y Residuales. 1992. APHA, AWWA, WPFC.), [120].

La técnica electrotérmica está indicada solamente en el caso de niveles de concentración por debajo del intervalo óptimo de absorción atómica directa de llama, ya que está sometido a más interferencias que el procedimiento de llama y requiere un mayor gasto de tiempo en el análisis. Frecuentemente, se necesita emplear el método de adiciones de patrones para asegurarse de la validez de los datos. La elevada sensibilidad de esta técnica obliga a la máxima atención para evitar la contaminación.

La espectroscopía de absorción atómica electrotérmica se basa en el mismo principio que la atomización directa a la llama, con la diferencia de que en este caso se emplea un atomizador calentado eléctricamente o un horno de grafito en lugar de una cabeza de quemador estándar. Se introduce un volumen discreto de muestra en el tubo de muestras de grafito o cubilete.

Normalmente, la determinación se realiza por calefacción de la muestra en tres o más etapas. Primero, una corriente de baja intensidad calienta el tubo para secar la muestra. En la segunda etapa, o carbonización se destruye la materia orgánica y se volatilizan otros componentes de la matriz a una temperatura intermedia. Por último, una corriente de elevada intensidad calienta el tubo hasta la incandescencia y atomiza al elemento cuya concentración se determina en una atmósfera inerte. Se suelen incluir otras etapas auxiliares en el secado y la carbonización para limpiar y enfriar el tubo entre las muestras. El vapor atómico elemental resultante absorbe la radiación monocromática de la fuente.

Un detector fotoeléctrico mide la intensidad de la radiación de la radiación transmitida, que es inversamente proporcional a la cantidad de átomos elementales en el trayecto óptico en un intervalo.

3.4. HAP´S, Pesticidas y PCB´s.

3.4.1. Fundamento.

Debido a los efectos nocivos para la salud humana y el ambiente, es extremadamente importante el desarrollo de procesos analíticos efectivos para determinar los HAP´s, Pesticidas y PCB´s de cualquier matriz.

Se han esudiado diveras técnicas de identificación y cuantificación de técnicas aplicadas a estos compuestos. Las más utilizada son la cromatografía de gases y la cromatografía líquida de alto rendimiento.

Sin embargo, la extracción de dichos compuestos de matrices múltiples, encontradas en el ambiente, es compleja y es continuamente investigada e innovada. Al encontrarse en el medio ambiente en concentraciones muy bajas, se requiere un método de extracción efectivo, capaz de cuantificar totalmente los analitos de la matriz. Las técnicas de extracción tradicionales, como la Soxhlet y la extracción por ultrasonido, se llevan a cabo utilizando solventes como el diclorometano o el ciclohexano.

En los últimos años se han desarrollado numerosos métodos para la extracción sobre todo de HAP´s en el ambiente, tales como, la extracción fluida supercrítica, la extracción con solventes por medio de microondas y la extracción acelerada con solventes.

La técnica de extracción por ultrasonido estática se ha aplicado satisfactoriamente para extraer estos compuestos a partir de diferentes matrices. Aunque, últimamente se han desarrollado métodos más efectivos como la extracción dinámica por ultrasonido dinámica.[25]. [26].

3.4.2. Procedimiento.

Se utilizó una técnica de ultrasonido estática modificada por el grupo CAFMA, para la extracción de HAP´s, Pesticidas y PCB´s con solventes orgánicos.

Antes de proceder al tratamiento y determinación de las muestras, éstas deben estar completamente limpias de restos de corteza, tierra y otros sólidos que no sean líquenes, así como totalmente secas, para ello se colocarán en la estufa a 60 °C durante tres días. Una vez completado este paso se procederá a pulverizar la muestra en un mortero adecuado.

La muestra, una vez seca y pulverizada se trata de la siguiente manera:

3.4.2.1. Extracción.

1. Se pesa aproximadamente 1,0 g de la muestra y se realizan 3 extracciones con 10 ml de éter-hexano 1:1.

2. Se agitan durante un minuto en el vórtex y se sumergen 10 minutos en el baño de ultrasonido a 20ºC.

3. Se centrifugan durante 5 minutos a 1000 r.p.m y los extractos se pasan por un embudo que contiene papel filtro, lana de vidrio y 0,5 g de sulfato de sodio anhidro.

4. Los extractos se filtran a través de un cartucho especial para HAP´s, que contiene en su interior 1 g de fluorisil (activado en una mufla a 677ºC durante una hora).

5. Los eluídos se concentran en un rotovapor, se secan con corriente de aire y se vuelven a regenerar con hexano tomándose con pipeta volumétrica una alícuota de 1 ml de cada muestra. Se colocan en viales especiales para la determinación cromatográfica.

3.4.2.2. Determinación del Porcentaje de Recuperación del Método.

Se realizan todos los pasos anteriores del 1 al 5 con una muestra de liquen a la que se le añaden 0,1 g de solución estándar en hexano con cantidades conocidas del compuesto a determinar.

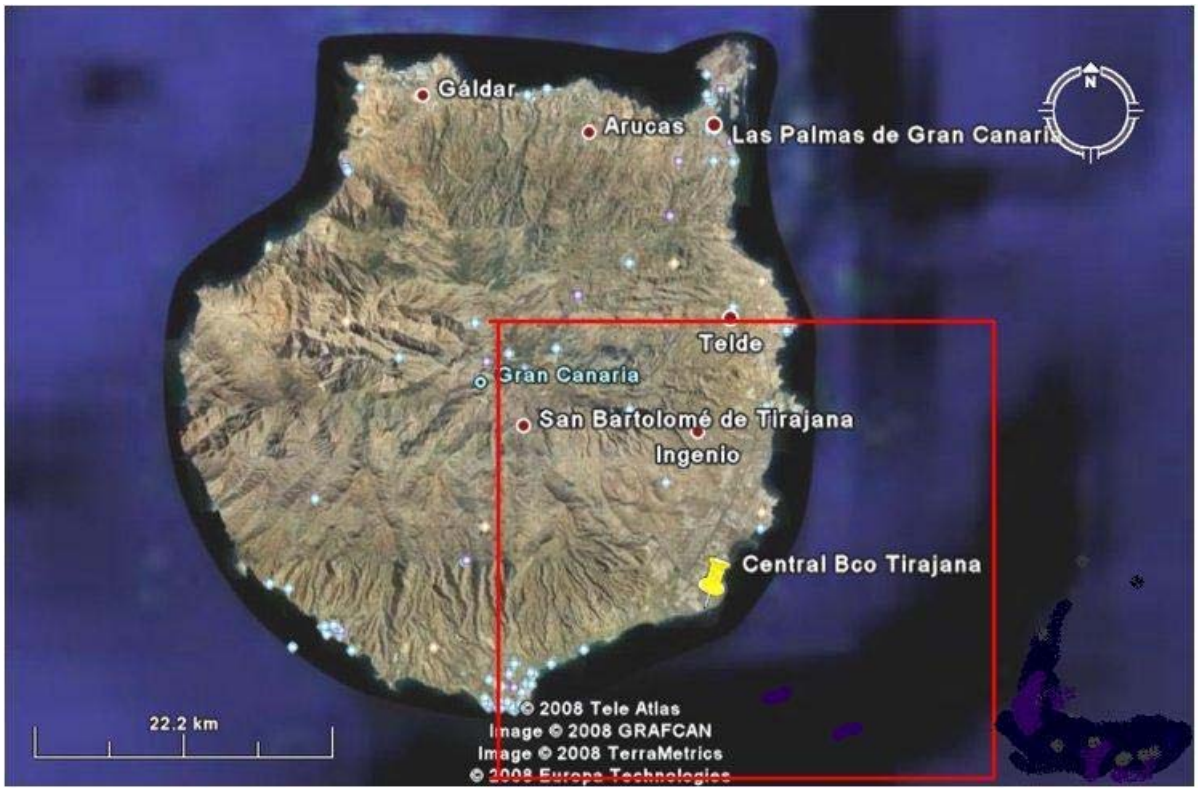
Se mantiene la solución estándar a temperatura ambiente durante 24 h antes de la extracción.

Se determina el porcentaje de recuperación mediante la siguiente fórmula:

% R = (HAP´s en muestra con sol. Estandar – HAP´s blanco liquen)/HAPs

ANEXO 4:

ORTOFOTOS



OA1: Zona de ubicación de estaciones liquénicas

OA2: Estaciones liquénicas

Nº	Estación
1	Pico Tabaibas
2	Montaña Carboneras
3	Santa Lucía
4	Montaña Arinaga
5	Montaña Agüimes
6	Ingenio-Pasadilla
7	Cruz Grande
8	Gitagana
9	Aldea Blanca
10	Pico de Las Nieves
11	Pasadilla-Cazadores
12	Temisas

OA3: Cabinas de inmisión

Nº	Cabinas
1	Arinaga
2	Castillo del Romeral
3	San Agustín
5	Agüimes
6	Sardina
7	Playa del Inglés

OA4: Aspectos orográficos de la zona a estudio

Nº	Aspectos Orográficos
1	Barranco de Guayadeque
2	Llanos de Arinaga
3	Barranco de la Angostura
A	Montaña Aguida (565 m)
B	Montaña Herrero (601 m)
C	Montaña Pasadilla (762 m)
D	Montaña Las Tierras (1.041 m)
E	Montaña Agüimes (357 m)
F	Montaña Quemada (317 m)
G	Roque Aguayro (538 m)
H	Risco de la Cinta (781 m)
I	Mesa de las Burras (821 m)
J	Montaña Carboneras (661 m)
K	La Fortaleza (566 m)
L	Macizo de Amurga (1.131 m)
M	Pico Tabaibas (409 m)