

**BIOMONITORING PARTIKULAT MATTER DI UDARA YANG
DIKELUARKAN DARI PABRIK SEMEN DAN PERBANDINGANNYA
DENGAN HASIL PEMODELAN DISPERSI**

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

HANDAYANI

NIM. 150702010

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2020 M/1441 H**

LEMBAR PERSETUJUAN

BIOMONITORING PARTIKULAT MATTER DI UDARA YANG DIKELUARKAN DARI PABRIK SEMEN DAN PERBANDINGANNYA DENGAN HASIL PEMODELAN DISPERSI

TUGAS AKHIR TERJEMAHAN ARTIKEL JURNAL ILMIAH

Sesuai dengan Keputusan Rektor Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Nomor 14 Tahun 2020 tentang Pedoman Pelaksanaan Penyelesaian Tugas Akhir
Mahasiswa Strata (S-1) Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh pada
Masa Tanggap Darurat Corona Virus Disease 2019 (Covid-19)
Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Beban Studi Memproleh Gelar Sarjana Dalam Prodi Teknik Lingkungan

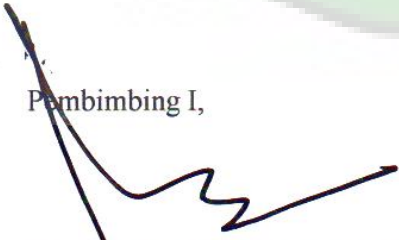
Oleh

**HANDAYANI
NIM. 150702010**

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

Disetujui oleh:

Pembimbing I,


Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.
NIDN. 2013128901

Pembimbing II,


Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc.
NIDN. 2015118002

LEMBAR PENGESAHAN

BIOMONITORING PARTIKULAT MATTER DI UDARA YANG DIKELUARKAN DARI PABRIK SEMEN DAN PERBANDINGANNYA DENGAN HASIL PEMODELAN DISPERSI

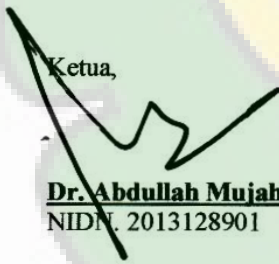
TUGAS AKHIR TERJEMAHAN ARTIKEL JURNAL ILMIAH

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

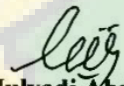
Pada Senin, 24 Agustus 2020
Hari/Tanggal: 5 Muharam 1442 H

Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir

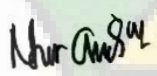
Ketua,


Dr. Abdullah Mujahid Hamdan, M.Sc.
NIDN. 2013128901

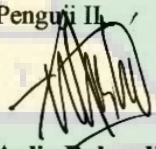
Sekretaris,


Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc.
NIDN. 2015118002

Penguji I,


Dr. Eng. Nur Aida, M.Si.
NIDN. 2016067801

Penguji II,


Aulia Rohendi, M.Sc.
NIDN. 2010048202

Mengetahui,




Dr. Azhar Amsal M.Pd *k*
NIDN. 2001066802

**LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR TERJEMAHAN
ARTIKEL JURNAL ILMIAH**

Nama : Handayani
NIM : 150702010
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Artikel : Biomonitoring of Airborne Particulate Matter Emitted d
From A Cement Plant and Comparison With Dispersion
Modelling Results. 1352-2310/\$ e see front matter. 2013
Elsevier Ltd. All rights sreserved.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.10.020>
Judul terjemahan : Biomonitoring Partikulat Matter di Udara yang g
Dikeluarkan dari Pabrik Semen dan Perbandingannya
Dengan Hasil Pemodelan Dispersi.

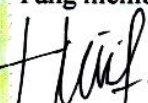
Dengan ini saya meyakini bahwa dalam penulisan Terjemahan Artikel Jurnal Ilmiah ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya; dan
6. Tidak memanipulasi dan memalsukan data.

Bila di kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.



Banda Aceh, 20 Agustus 2020
Yang membuat pernyataan,


HANDAYANI
NIM.150702010

KATA PENGANTAR



Dengan mengucapkan Alhamdulillah Segala puji bagi Allah yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagai pengganti dari Skripsi yaitu menerjemah Jurnal Atmospheric Environment dengan judul Artikel Ilmiah “**Biomonitoring of Airborne Particulate Matter Emitted From a Cement Plant and Comparison with Dispersion Modelling Results**”. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana pada Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Perjalanan panjang telah penulis tempuh dalam rangka menyelesaikan Tugas Akhir ini, penyelesaian Skripsi mengalami kendala karena pandemi Virus Corona atau Covid-19. Namun berdasarkan keputusan Rektor UIN Ar-Raniry No. 14 Tahun 2020 tentang pedoman pelaksanaan penyelesaian Tugas Akhir mahasiswa Strata satu (S-1) Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh pada masa tanggap darurat Covid-19. Maka penulis mengambil pilihan untuk menerjemahkan Artikel Ilmiah.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis menerima banyak sekali bantuan, dukungan, kritik, saran dan doa, sehingga Tugas Akhir ini berhasil diselesaikan. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati, pada kesempatan ini patutlah kiranya penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Teristimewa kepada orang tua tercinta, Ayah (Berahim) dan Bunda (Kasma) yang telah merawat, mendidik, membesarkan, mendoakan, memotivasi, memenuhi kebutuhan saya dengan penuh cinta dan kasih sayang, serta saudara laki-laki saya Abangda tersayang (Irwansyah, Fery, Diansyah, Kasmirasyah dan Adik perempuan ‘Sariga Marlina’) yang tak

henti-hentinya memberikan semangat, Doa dan dukungannya kepada saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

2. Bapak Dr. Abdullah Mujahid Hamdan, M.Sc. Selaku Pembimbing I, yang sangat luar biasa sabar selama proses bimbingan dan tak pernah bosan memberikan semangat motivasi juga tambahan ilmu serta solusi dalam setiap kesulitan penulis alami selama menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Bapak Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc Selaku Pembimbing II, yang juga luar bisa baik telah berkenan memberikan tambahan ilmu serta solusi pada setiap permasalahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Ibu Dr. Eng. Nur Aida, M.Si. Selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan.
5. Ibu Yeggi Darnas, S.T . M.T. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan, yang telah berkenan memberikan ilmu, arahan dan dukungan selama masa perkuliahan sampai akhir penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Fathul Mahdariza, M.Sc. dan Bapak Aulia Rohendi, M.Sc. Selaku dosen wali yang telah banyak memberikan arahan, motivasi dan dukungan selama masa perkuliahan.
7. Seluruh Dosen Prodi Teknik Lingkungan yang telah memberikan dan membagi ilmunya kepada penulis.
8. Kak Idariani dan kak Nurul Huda S.Pd yang telah banyak membantu penulis dalam melancarkan proses Administrasi di Prodi Teknik Lingkungan.
9. Terimakasih kepada sahabat-sahabat terbaik yang sudah banyak membantu penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir, Yulia Widia Sari, Sakhdiah, Jumiati Puspita Sari, Tuti Marlina, Ummul Khair, Lismawati dan Rini Lismeiliani dan teman-teman seperjuangan di Teknik Lingkungan Angkatan 2015.

Akhir kata penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan limpahan berkah dan rahmat-Nya. Semoga penulisan ini dapat bermanfaat untuk pengembangan keilmuan dan pengetahuan di masa depan.

Banda Aceh, 15 Agustus 2020
Penulis,

Handayani
NIM.1507020101



DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN JURNAL ILMIAH.....	iii
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I ARTIKEL JURNAL ILMIAH YANG DITERJEMAHKAN	1
1.1 Introduction	2
1.2 Materials and methods	4
1.3 Results and discussion.....	12
1.4 Conclusions	23
1.5 Acknowledgements	23
REFERENCES.....	24
BAB II TERJEMAHAN ARTIKEL JURNAL ILMIAH.....	27
2.1 Pendahuluan	27
2.2 Kajian Teori dan Metode Penelitian.....	30
2.3 Hasil dan Pembahasan.....	38
2.4 Kesimpulan.....	48
2.5 Ucapan Terimakasih.....	48
BAB III PEMBAHASAN	51
3.1 Identitas Artikel Jurnal Ilmiah.....	51
3.2 Kebaruan Artikel	53
3.2 Kelebihan Artikel	54
3.3 Kekurangan Artikel	55
3.4 Dampak Artikel	55
BAB IV PENUTUP	57
4.1 Kesimpulan.....	57
4.2 Saran	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Lokasi Area Penelitian di Provinsi Córdoba, Mengidentifikasi Pengambilan Sampel, Pabrik Semen, dan Mengkategorikan Subareas (NE, SW, E, W, C).....	30
Gambar 2.2	DEM dan Profil Topografi Biomonitoring dan Model Area yang Diteliti. Catatan Kaki: Ikon-Ikon Tersebut Mewakili Lokasi Situs Pengambilan Sampel dan Batas Garis Putus-Putus Area Biomonitoring	32
Gambar 2.3	Angin Naik untuk Periode 2006-2012. Data Disediakan oleh Layanan Cuaca Nasional, Stasiun Bandara Cordoba...	35
Gambar 2.4	Mawar Angin Musiman Sesuai dengan Periode Paparan biomonitorig (Spring, 2009 dan Summer, 2010). Data Disediakan oleh Layanan Cuaca Nasional, Stasiun Bandara Cordoba.....	36
Gambar 2.5	Analisis Komponen Utama dengan Rotasi Varimax dan Peta Isokonsentrasi untuk Faktor Pengayaan Logam Berat (EFB) pada Daun <i>T. Capillaris</i>	46
Gambar 2.6	Nilai Konsentrasi Rata-Rata PM ₁₀ Yang ($\mu\text{g M}^{-3}$) dari Pabrik Semen dengan Periode Paparan/Pencahayaayan (September-Maret 2009/2010)	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Statistik Deskriptif untuk Menghitung Logam Berat dan Kerusakan Fisiologis pada Sampel <i>T. Capillaris</i> Yang Terpapar di Pabrik Semen di Córdoba, Argentina.....	37
Tabel 2.2	Matriks Korelasi untuk Faktor Pengayaan Logam Berat (EF _B), Ph dan EC Diukur pada Daun <i>T. Capillaris</i> , Mempertimbangkan Jarak dari Pabrik Semen di Cordoba, Argentina (Koefisien Korelasi Pearson.....	40
Tabel 2.3	Analisis ANOVA untuk Faktor Pengayaan Logam Berat dengan Sampel Basal (EF _B) dan Tanah Lapisan Atas (EF _{TS}) di Tanaman <i>T. Capillaris</i> di Pabrik Semen di Córdoba, Argentina, Antara Sub-Area NE, SW, E, W, dan C. Uji LSD Diterapkan Ketika Perbedaan Signifikan Ditemukan (P <0,05).....	42

BAB I
ARTIKEL JURNAL ILMIAH YANG DITERJEMAHKAN

**Biomonitoring of Airborne Particulate Matter Emitted From A Cement Plant
and Comparison With Dispersion Modelling Results**

Gabriela A. Abril, Eduardo D. Wannaz, Ana C. Mateos, María L. Pignata

Abstract

The influence of a cement plant that incinerates industrial waste on the air quality of a region in the province of Córdoba, Argentina, was assessed by means of biomonitoring studies (effects of immission) and atmospheric dispersion (effects of emission) of PM₁₀ with the application of the ISC3 model (Industrial Source Complex) developed by the USEPA (Environmental Protection Agency). For the biomonitoring studies, samples from the epiphyte plant *Tillandsia capillaris* Ruiz & Pav. *f. capillaris* were transplanted to the vicinities of the cement plant in order to determine the physiological damage and heavy metal accumulation (Ca, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd and Pb). For the application of the ISC3 model, point and area sources from the cement plant were considered to obtain average PM₁₀ concentration results from the biomonitoring exposure period. This model permitted it to be determined that the emissions from the cement plant (point and area sources) were confined to the vicinities, without significant dispersion in the study area. This was also observed in the biomonitoring study, which identified Ca, Cd and Pb, pH and electric conductivity (EC) as biomarkers of this cement plant. Vehicular traffic emissions and soil re-suspension could be observed in the biomonitors, giving a more complete scenario. In this study, biomonitoring studies along with the application of atmospheric dispersion models, allowed the atmospheric pollution to be assessed in more detail.

Keywords: *Tillandsia capillaris* Heavy metal enrichment factors ISC3 Emission factor estimation technique Córdoba.

1.1 Introduction

Even though the atmospheric emission rate limits imposed on industrial facilities have become stricter in recent years, inadequate control measures are still prevalent in the case of many emerging countries. In Argentina, atmospheric studies are few, often poorly performed, and do not always result from governmental initiatives due to environmental studies not being high on the public agenda.

Particulate matter and pollutants in general can be transported by the wind and dispersed by the turbulent movement of air prior to reaching receptors. One of the industries which can cause particulate matter pollution is cement production, with the emission of dust being the main environmental concern in relation to cement manufacture (Isikli et al., 2006).

Cement plants produce a considerable quantity of particulate matter as a result of the continuous feeding of raw materials into the cool end of the cement kiln, processing, and the rapid countercurrent flow of combustion gases over the raw feed. Particles that become entrained in combustion gases are removed from the kiln by exhaust gases and are known as cement kiln dust (CKD) (EPA, 1998), with particle sizes generally varying according to the kiln process types and ranging from 0 to 5 mm (approximately clay size) to greater than 50 mm (silt size) (EPA, 1993).

The complex mix of pollutants emitted into the atmosphere as a result of industrial activities is known to affect the physiological and biochemical condition of plants, depending on the type, chemical composition and concentration of the pollutants (Mandre et al., 1999). Previous studies have determined that cement dustfalls are enriched in toxic heavy metals such as As, Pb, Ni, Cr, Cu, Zn, Mn, and Cd, (Adejumo et al., 1994), which can spread throughout a large area by wind, rain, etc. and accumulate on plants, animals and soil, thus ultimately affecting human health (Isikli et al., 2006).

Environmental monitoring studies employing biomonitors can be useful in assessing the atmospheric quality at sites where cement plants are established. These living organisms permit, on the basis of networks, the impact of pollutants on

ecosystems to be determined (immision effects) and are of particular importance in the framework of environmental protection measures (Franzle, 2003). Lichens, mosses and some epiphytic plants are widely used in biomonitoring studies of air pollution, either bioindicators of air quality or as bioaccumulators of atmospheric pollutants (Pignata et al., 2002).

As an alternative to biomonitoring studies, emission sources can be assessed by means of dispersion modelling analyses, with the widespread application of atmospheric dispersion models reflecting the current lack of atmospheric studies and the need for predictive tools in decision making in order to protect human health. The model applied in the present study was ISC3, which was developed by EPA as a regulatory application for estimating ambient concentrations. This model was used here for assessing the atmospheric dispersion of PM₁₀ emissions from an industrial complex dedicated to the manufacture of cement (emission effects). In Argentina, there are currently seventeen cement plants, of which two are located in the province of Cordoba and generate 2.700.000 t/year (metric tonnes), representing 16.3% of the national cement production (Schvarzer and Petelski, 2005). The objective of the present study was to assess the air pollutant emissions from a cement plant located in the province of Cordoba, Argentina by means of particulate matter (PM10) dispersion modelling (effects of emission) and biomonitoring studies (effects of immission).

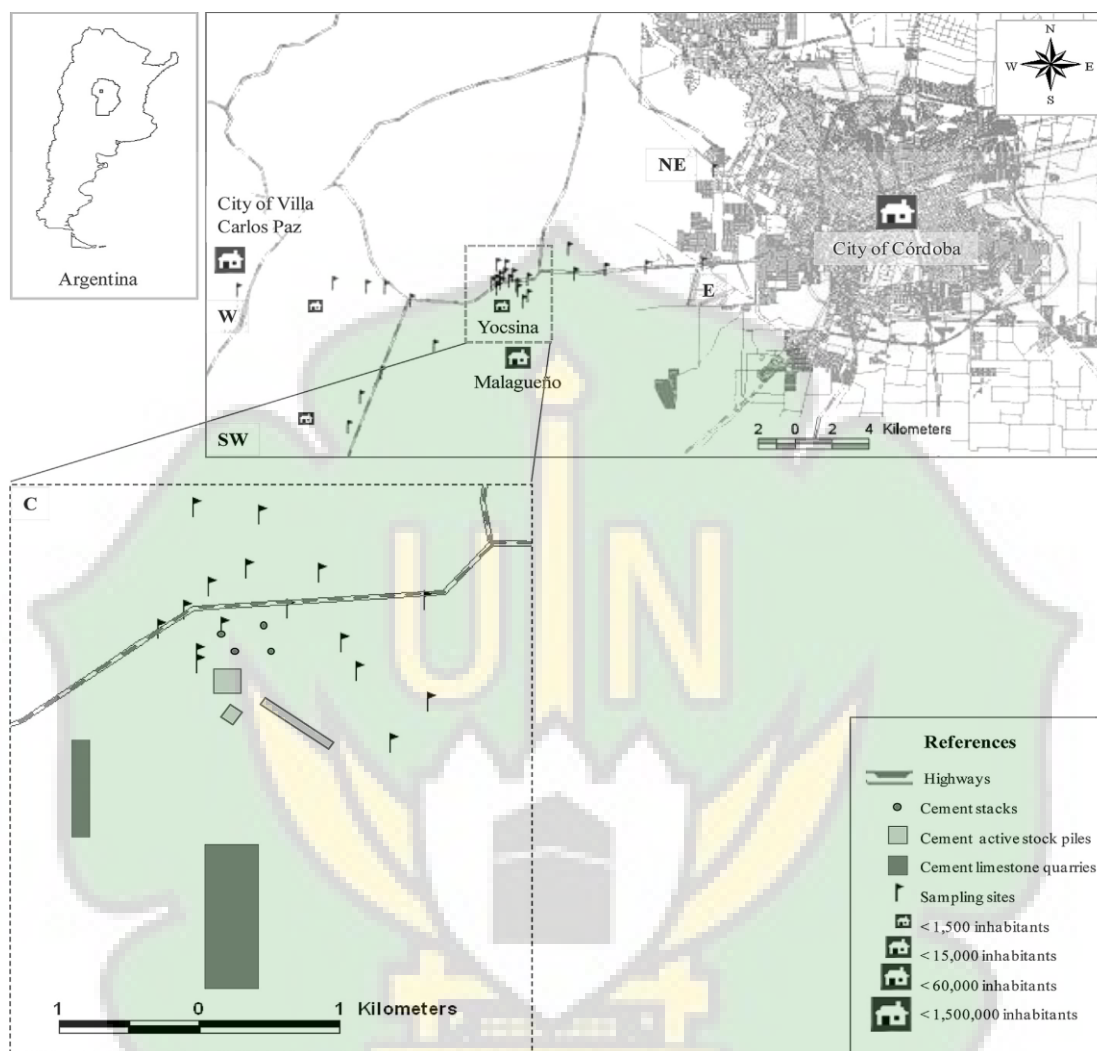


Fig. 1.1 Location of the study area in the Province of Córdoba, identifying the sampling sites, the cement plant, and categorizing the subareas (NE, SW, E, W, C).

1.2 Materials and methods

1.2.1 Study area description and location of sampling sites

Fig. 1.1 shows the location of the sampling sites. The study area covered several towns, but had its focal point in Yocsina (designated in this study as C), which is located 18 km SW of Córdoba city. This town has a population of 5000 inhabitants and has developed an industrial profile, mainly due to its cement plant.

The area presents a heterogeneous topography, ranging from 420 to 1020 m a.s.l (Fig. 2) with the east direction (E) from the cement plant corresponding to one of the principal accesses to the city of Cordoba, presenting an intense and constant vehicular traffic of approximately 1852 vehicles/hour (unpublished results, Municipality of Cordoba, 2012). Heading towards the west (W) is Villa Carlos Paz city, located at the beginning of a geological formation that may represent a topographic boundary with the area under study. In the north-east direction from the cement plant (NE), agricultural activities are found, with soybean and wheat being the principal crops cultivated in this area. The south (S) and southwest direction (SW) lead to the limestone quarries associated with the cement plant, beyond which are located private residential areas and agricultural fields. Potential PM and heavy metal sources identified in the study area are: industrial activities (cement plant), vehicular traffic, and agriculture. The sampling sites were chosen with a radial distribution surrounding the cement plant (C) and with linear distributions to assess the effects of prevailing winds (NE and SW) and the influence of Cordoba city and Villa Carlos Paz (E and W, respectively).

1.2.2 Meteorological variables in the study area

For most air modelling studies, five years of hourly data from a representative national weather service station is recommended. Wind roses were elaborated to illustrate flow vectors (wind blowing to) for the period 2006-2012 from data provided by the National Weather Service (2012), Córdoba airport station, which is located at approximately 12 km NE of the study area. Information regarding meteorological data validation can be found at Supplementary material (Fig. S1). From the wind rose (Fig. 3), it can be seen that the leading wind directions were those blowing to SSW, S and SW, and this also could be observed during the biomonitoring exposure periods: “spring, 2009” and “summer, 2010” (Fig. 4). In spring, there were fewer episodes of calm periods (26%) compared to the summer season (42%), and stronger winds coming from the S were more frequent.

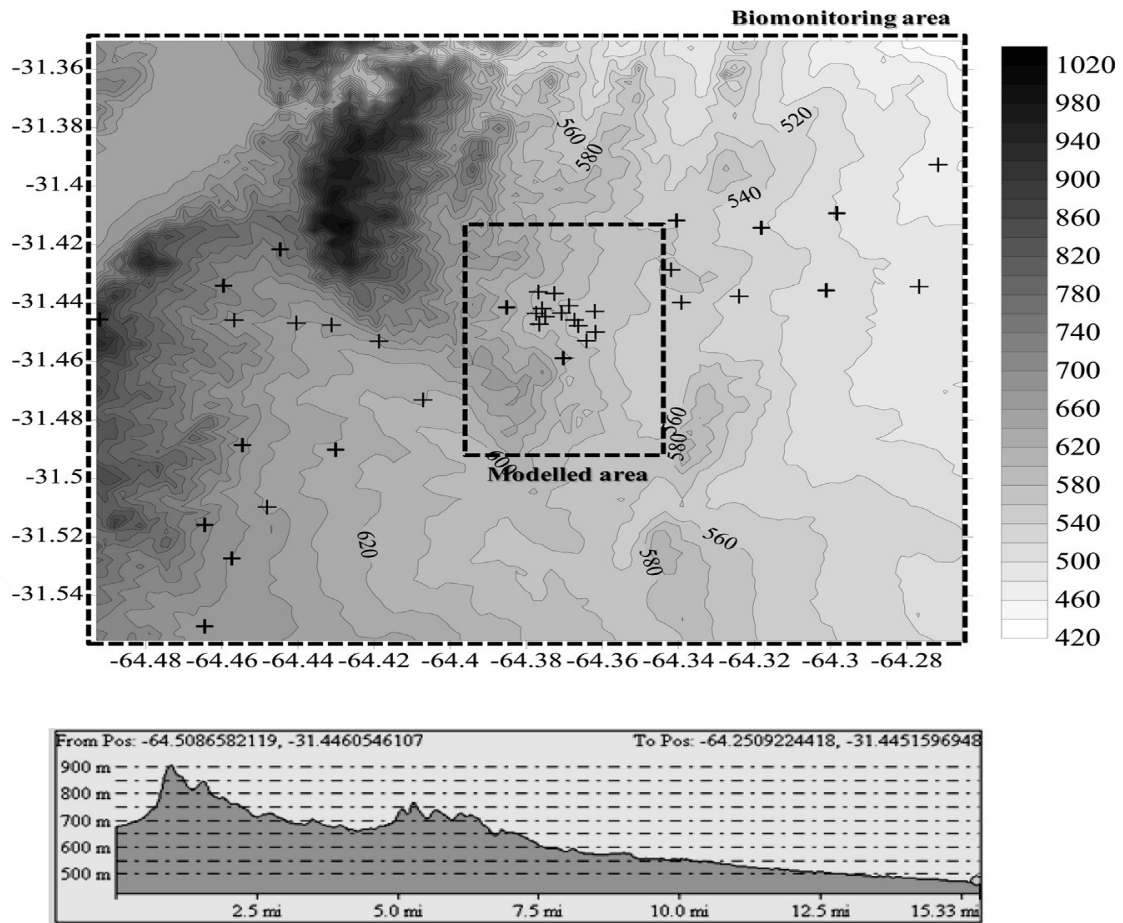


Fig 1.2 DEM and topographic profile of the biomonitoring and modelled areas under study. Footnote: The icons represent the location of sampling sites and the dashed lines delimit the biomonitoring and modelled areas.

1.2.3. Brief description of the cement plant

The cement plant began operating in 1963 and currently has a production capacity of 1,200,000 t (metric tonnes) of cement and 540,000 t of clinker per year (Schvarzer and Petelski, 2005). The major PM emission sources from the production process include: limestone quarries and active stockpiles (area sources), clinker grinding and cooling, and cement grinding (point sources). Since 1994, the cement plant has utilized a technology named “blending”, which consists of a retrofit of

industrial waste with the aim of using it as an alternative fuel and diminishing the costs due to a high consumption of natural gas (resulting in 25% alternative fuels and 75% conventional fuels).

1.2.4 Biological material and sample preparation

Plants of *Tillandsia capillaris* Ruiz & Pav. *f. capillaris* were collected at Dique la Quebrada, Province of Córdoba, located 38 km NW from the capital city. This natural reserve is considered to be an unpolluted site, where the baseline compositions of these plants have remained practically unchanged over the years. *T. capillaris* has been previously employed in other biomonitoring studies carried out by our research group and has been shown to act as a good biomonitor of response and accumulation in the assessment of atmospheric quality (Pignata et al., 2002; Wannaz et al., 2012). More information regarding this biomonitoring species can be found at Supplementary material.

1.2.5 Active biomonitoring and exposure periods

Net bags containing 8-10 plants were prepared according to (Wannaz et al., 2006) and transplanted to the study area ($n = 3$ bags/site). These were placed 3 m above ground level and exposed for 3 (September 20 the December 21st, 2009) and 6 months (September 20 the March 20 th, 2009/2010) at 30 sites. Once the exposure periods had been concluded, plants were carefully collected and placed in paper bags. For the 3-month period, part of the material was separated to determine the pH₁, EC₁ (electric conductivity), water and sulphur content, whereas the rest was kept in plastic vials at -15 °C in the dark for subsequent physiological determinations. For the 6-month period, part of the material was separated to determine pH₂ and EC₂, and the remainder was taken to constant weight in a stove at 45 °C for two weeks for heavy metal content determinations. The same procedures were used on basal samples to evaluate the physiological damage and heavy metal accumulation in order to obtain baseline conditions.

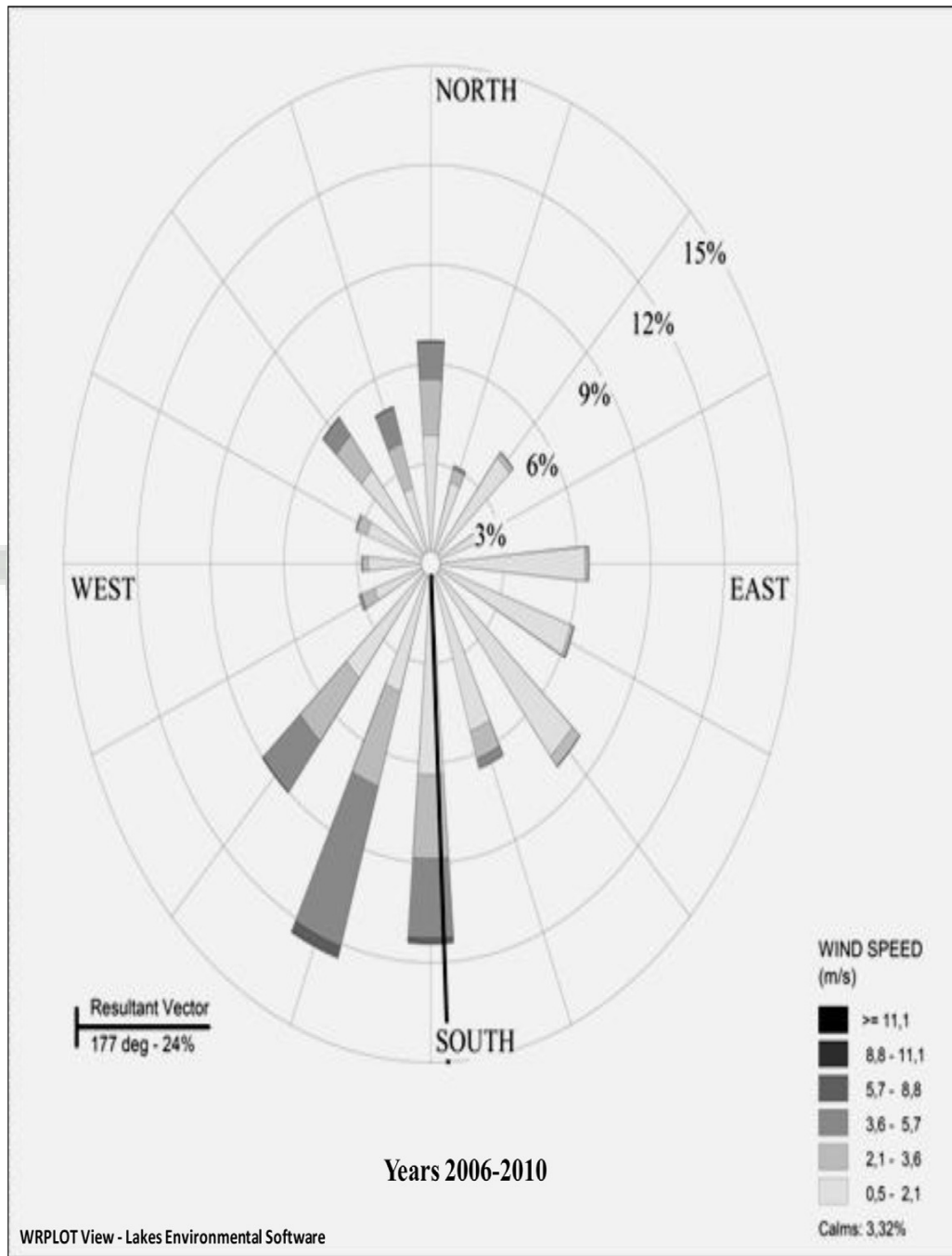


Fig 1.3 Wind rose for the period 2006e2012. Data provided by the National Weather Service, Córdoba airport station.

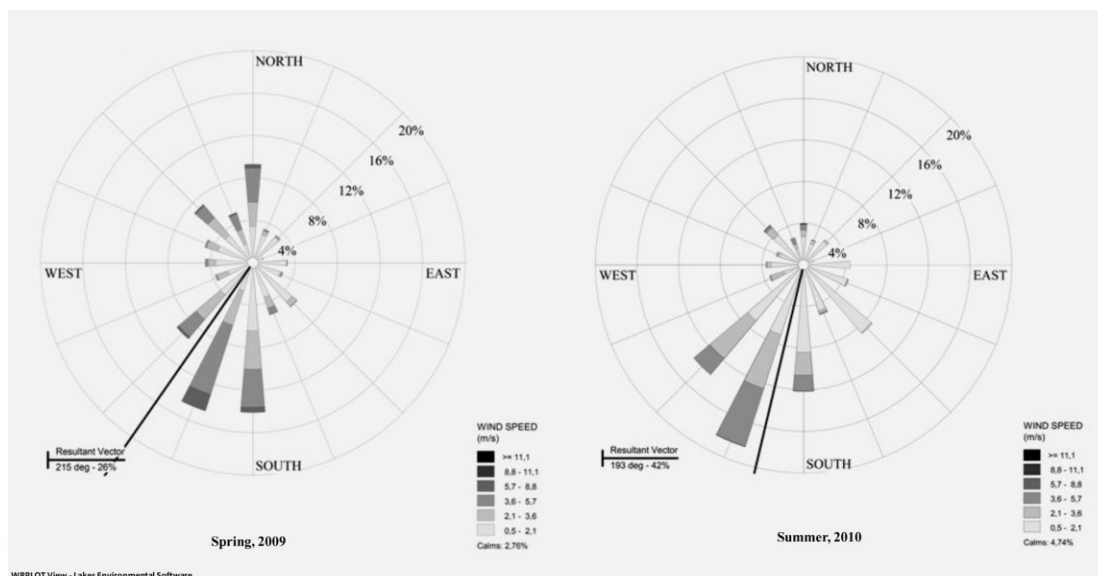


Fig 1.4 Seasonal wind roses corresponding to the biomonitoring exposure periods (Spring, 2009 and Summer, 2010). Data provided by the National Weather Service, Córdoba airport station.

1.2.6 Physiological determinations

Three sub-samples of *T. capillaris* were taken from each sampling site once the exposure period had elapsed. Quantification of chlorophyll a (Chl-a), chlorophyll b (Chl-b), phaeophytin a (Ph-a), phaeophytin b (Ph-b), carotenoids (Carot), malondialdehyde (MDA), hydroperoxy conjugated dienes (HPCD), sulphur content (S) and dry weight/fresh weight ratio (DW/FW) was performed using procedures already described by Pignata et al. (2002). A Foliar Damage Index (FDI) was also calculated, which combines the variations in certain individual chemical parameters (biomarkers) to assess stress due to atmospheric pollution (Pignata et al., 2002). More information of this index can be found in Supplementary material.

1.2.7 Determination of heavy metal content

For heavy metal content, 2.5 g of dry weight of *T. capillaris* leaf samples were reduced to ashes in a muffle furnace at 450 °C for 4 h. These ashes were

dissolved with concentrated HNO_3 (65% Merck, Germany), and after being individually covered with plastic film, the samples were kept for 24 h in the dark. Following this, the samples were filtered twice, the second time with a 2 μm filter paper (Munktell, Germany), and brought to a final volume of 25 mL ultrapurewater, before being transferred to a 50 mL dark flask. The acid solutions were analyzed by flame atomic absorption spectrometry (FAAS) to determine the concentrations of Ca, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd and Pb, and the results were expressed as mg g^{-1} DW.

1.2.8. Quality control of samples

In order to assess the digestion procedure and to check the accuracy of the determination of the heavy metals, laboratory blanks and two replicate samples of certified reference material of orientaltobacco leaves “CTA-OTL-1” (Institute of Nuclear Chemistry and Technology) were prepared and ran every ten samples following the same treatment. Values for all blank samples were near to or less than the detection limits of FAAS, and the results were between 79% (Fe) and 92% (Zn) of the certified values, with the coefficients of variations (CV) $\leq 16\%$ (Table S1 - Supplementary material).

1.2.9 Statistical analyses

Statistical analyses were based on the mean values of determinations performed on the three sub-samples obtained at each sampling point. Assumptions for normality were tested using the Shapiro-Wilk test (S-W), and non-normal distributed variables were LOG_{10} transformed before carrying out parametric statistics. A correlation analysis was applied to evaluate the relationships among the heavy metal enrichment factors and proximity to the cement plant (Pearson correlation coefficient). An analysis of variance (ANOVA) was performed for each parameter considering the different areas (C, NE, E, W and SW), and when the ANOVA null hypothesis was rejected (significance level < 0.05); post-hoc comparisons were performed to determine differences between pairs of means (Least Significant Difference, LSD). A

principal component analysis (PCA) was used to identify possible atmospheric pollution sources and the associations between the different sites.

Table 1.1 Descriptive statistics for the heavy metal accumulation and physiological damage in *T. capillaris* samples exposed at the cement plant in Córdoba, Argentina.

Variabel	Units	<i>n</i>	Mean	S.E	% C.V	Minimum	Maximum
Cu	µg g ⁻¹ DW	54	14.69	0.56	28.14	8.33	29.70
Zn	µg g ⁻¹ DW	54	29.21	0.89	22.41	20.48	44.46
Ni	µg g ⁻¹ DW	54	6.23	0.24	28.68	3.67	12.42
Cd	µg g ⁻¹ DW	54	0.32	0.04	97.25	0.00	1.64
Mn	µg g ⁻¹ DW	54	118	3	19	74	161
Pb	µg g ⁻¹ DW	54	6.89	0.48	51.25	2.55	22.67
Fe	µg g ⁻¹ DW	54	2728	95	25.63	1447	4971
Ca	µg g ⁻¹ DW	54	13.722	1899	101.71	3390	85.603
Chl-a	mg g ⁻¹ DW	90	1.65	0.06	35.62	0.34	2.81
Chl-b	mg g ⁻¹ DW	90	0.74	0.03	36.84	0.14	1.30
Ph-a	mg g ⁻¹ DW	90	1.92	0.07	33.85	0.50	3.49
Ph-b	mg g ⁻¹ DW	90	0.77	0.03	33.03	0.20	1.39
Carot.	mg g ⁻¹ DW	90	0.32	0.01	39.19	0.04	0.57
HPCD	µmol g ⁻¹ DW	90	12.28	0.64	47.46	1.94	28.54
MDA	nmol g ⁻¹ DW	90	112	3	27	71	229
S	mg g ⁻¹ DW	90	1.22	0.04	32.78	0.51	2.41
Ph-a/Chl-a	-	90	1.01	0.02	14.83	0.84	1.43
Ph-b/Chl-b	-	90	0.44	0.01	8.04	0.31	0.52
DW/FW	-	90	0.27	0.01	24.16	0.47	0.42
FDI	-	90	2.10	0.08	38.23	5.95	4.47
pH ₁	-	90	7.10	0.06	7.64	5.95	8.40
EC ₁	µS cm ⁻¹ mL ⁻¹ g ⁻¹ FW	90	0.41	0.02	58.42	0,08	1.27
pH ₂	-	48	6.86	0.10	9.73	5.68	8.44
EC ₂	µS cm ⁻¹ mL ⁻¹ g ⁻¹ FW	48	0.69	0.12	116.18	0.19	3.89

S.E = Standard Error; % C.V. = percent Coefficient of Variation.

1.2.10 Selection of biomarkers from this cement plant

Using the statistical and bibliographical analyses of the physiological variables and heavy metal accumulation (Skórzyńska-Polit et al., 1998; Mandre et al., 1999; Isikli et al., 2006; Branquinho et al., 2008) biomarkers of this cement plant were selected in order to identify the effects of immission and to compare them with the emission effects.

1.2.11 Atmospheric dispersion modelling of PM₁₀ with ISC3

To assess the PM₁₀ atmospheric dispersion in the study area (EPA, 1995; Abdul-Wahab, 2006; NPI, 2008), the ISCST3 model (Industrial Source Complex Short Term, third version) was utilized (Schuhmacher et al., 2004). The ISC Short Term model uses hourly meteorological data records to define the conditions for plume rise, transport, diffusion, and deposition. It then estimates the concentration or deposition value of each source and receptor combination for each hour of input meteorology, and the user-selected short-term averages can then be calculated (EPA, 1995). The results from the biomonitoring studies and the PM₁₀ predicted average concentrations were represented graphically using the IDRISI Selva GIS and Imagery Processing software.

1.3 Results and discussion

1.3.1 Biomonitoring studies employing *T. capillaris* (effects of immission)

1.3.2 Descriptive statistics

The mean, minimum and maximum values were calculated and compared with similar scenarios, with Table 1.1 showing these descriptive statistics for the heavy metal accumulation and physiological damage in *T. capillaris* samples transplanted to Yocsina. Bermudez et al. (2012) analyzed the elemental composition of bulk deposition samples in the Province of Córdoba and found that Yocsina had the highest deposition rates for Ca, with differences being up to 2 orders of magnitude greater than the rest of the sampling areas. In the present study, the Ca accumulation

in *T. capillaris* was of one order of magnitude higher at sites located in the vicinities of the cement plant. With respect to the concentration of Cd, this ranged from 0.03 to 1.64 $\mu\text{g g}^{-1}$ DW, with these values being higher than others reported in woody plant species, which ranged from 0.001 mg g^{-1} DW (*Gmelina arborea*) to 0.130 $\mu\text{g g}^{-1}$ DW (*Mangifera indica*) (Princewill and Adanma, 2011) and those in grass (0.085-0.186 $\mu\text{g g}^{-1}$ DW) or *Piptatherum* sp. (0.00-0.06 $\mu\text{g g}^{-1}$ DW) around cement factories in Konya, Turkey (Onder et al., 2007) and Vallcarca, Spain (Schuhmacher et al., 2009), respectively. Furthermore, the concentrations of Cu, Mn, Ni, Pb and Zn were higher than those found in herbage samples collected in the vicinities of a cement plant in Spain (Schuhmacher et al., 2002). The S ($2.235 \pm 0.107 \mu\text{g g}^{-1}$ DW) and Zn ($57.25 \pm 17.98 \text{ mg g}^{-1}$ DW) concentrations found in *T. capillaris* samples exposed for 3 and 6 months, respectively, at an industrial site in the Province of Cordoba by Bermudez et al. (2009) were higher than the values obtained in this study, Fe ($1829 - 185 \mu\text{g g}^{-1}$ DW) was significantly lower, and Mn values ($118.10 - 16.15 \mu\text{g g}^{-1}$ DW) were similar.

1.3.3 Heavy metal enrichment factors

The calculation of the heavy metal enrichment factors (EFs) in samples of *T. capillaris*, either in relation to baseline conditions (EF_B), or local/background soil composition (EF_{TS}), have been used to evaluate emission sources of metals (natural or anthropogenic). Information regarding EF calculations can be found in Supplementary material. The topsoil heavy metal compositions from the study area and at a local site were used in order to take into account the regional geochemistry as well as to be able to speculate on the origin of the elements (Table S 1.2). Figs. S 1.2 and S 1.3 illustrate the mean EF_B and EF_{TS} values for heavy metals as a whole and between sites. By considering the scale proposed by Frati et al. (2005), the EF_B values revealed a severe accumulation of Cd (C, E and SW) and accumulations of Ca (C), Mn (all sites), Cu (all sites), Cd (NE) and Pb (C and E). The mean EF_{TS} values for all the elements under study were greater than 3, suggesting an anthropogenic input. Significantly higher EFs were found for Cu, coinciding with results found by

Bermudez et al. (2012) in bulk deposition samples at 10 different sites located in the province of Córdoba (including our study area). This may indicate that Cordoba is being affected by large concentrations of Cu, probably due to vehicular traffic emissions.

Tabel. 1.2 Correlation matrix for heavy metal enrichment factors (EF_B), pH and EC measured in *T. capillaris* leaves, considering distance from the cement plant in Córdoba, Argentina (Pearson Correlation Coefficient).

	pH ₁	EC ₁	EF Cu	EF Zn	EF Ni	EF Cd	EF Mn	EF Pb	EF Ca	EF C ₀	pH ₂	EC ₂	Dist.C.
pH ₁	1												
EC ₁	0.63***	1											
EF Cu	ns	ns	1										
EF Zn	ns	ns	0.39**	1									
EF Ni	ns	ns	0.86***	ns	1								
EF Cd	0.77***	0.59***	0.33*	ns	0.33*	1							
EF Mn	ns	ns	Ns	0.48**	ns	ns	1						
EF Pb	0.57	0.53***	0.41**	0.50***	0.35*	0.72***	ns	1					
EF Ca	0.71	0.79***	ns	ns	Ns	0.82***	-0.32*	0.65***	1				
EF C ₀	0.50	0.31*	0.59***	0.37*	0.50***	0.55***	0.35*	0.61***	0.32*	1			
pH ₂	0.65	0.41**	ns	ns	ns	0.65***	-0.338	ns	0.48**	ns	1		
EC ₂	0.36*	ns	ns	ns	ns	0.39**	Ns	ns	0.49***	ns	0.59***	1	
Dist.C.	-0.53***	-0.36*	0.33*	0.53***	ns	-0.47***	0.39**	ns	-0.48	ns	-0.55***	ns	1

*Significant at 0.05 probability level. **Significant at 0.01 probability level.

***Significant at 0.001 probability level. ns: not significant. pH₁ and EC₁: measured at the 3-month exposure period. pH₂ and EC₂: measured at the 6- month exposure period.

Dist. C: Distance from Cement Plant (km).

In order to establish inter-element relationships in the exposed biomonitoring samples (EF_B), Pearson correlation coefficients were calculated and are presented in

Table 2 in the form of a correlation matrix. Cd, Ca, pH₁, pH₂ and EC₁ were negatively correlated with distance from the cement plant (km), with these elements also being positively correlated with each other. These results coincided with Branquinho et al. (2008) who also found decreasing Ca values with increasing distance from a cement mill by using two biomonitoring species. There was a strong correlation between Cd and Ca ($r = 0.82$), suggesting that this element derived from cement plant emissions (Isikli et al., 2006). Pb was positively correlated with Cd and Ca, and also with Co, EC₁, Zn and Cu, indicating that Pb originated from more than one source of atmospheric pollution (Wannaz et al., 2012). Furthermore, Cu and Ni were positively correlated, although it still needs to be evaluated if these relationships had an agricultural and/or industrial origin.

The EF_B and EF_{TS} showed similarities in the ANOVA analyses between subareas (NE, SW, E, W and C) (Table 1.3), implying that same effects were being observed, and also that there was a strong air/plant-soil interaction. Mn, Ni and Cu did not present significant differences between sites, whereas Cd, and Ca were highly enriched in the vicinities of the cement plant. The high correlation between Cd and Ca may be explained by the fact that Cd was taken up by plants, using the paths of Ca transport (Skórzyńska-Polit et al., 1998). It is therefore reasonable to suppose that the presence of Cd in the study area was determined by the Ca levels occurring in plant cells. The Ca values did not significantly differ between C and NE, indicating a dispersion of this element (mostly) towards both these directions. In fact, Ca is not only emitted from stacks (point sources) but also from area sources (fugitive dust emissions), which are generated at ground level by wind re-suspension (Abdul-Wahab, 2006). Zn showed significant values (E, NE and SW), and was probably related to vehicular traffic emissions, considering that the highest values were found towards the E, one of the main accesses to Córdoba city, which is characterized by elevated vehicular flux. Pb was significantly enriched at most of the sites, especially at C and E, indicating that Pb was not only explained by the cement plant but also probably originated from traffic emissions (Wannaz et al., 2012).

There were two sites at C which showed elevated heavy metal content for most of the elements studied, compared to the average values found at the rest of the sites (Table S 1.3). These sites were located nearest to the clinker cooler stack, at 90 (site 1) and 350 m (site 2), and were probably affected by stack downwash. Generally, the most important source of atmospheric emissions from cement stacks is from the clinker kilns, and when these kilns use organic waste as alternative fuels, the emissions contain heavy metals and their compounds, HF, HCl, dioxins and furans (Schuhmacher et al., 2002). Site 1 was more enriched in heavy metals than site 2, having the highest levels of Ca, Cd and Pb which were greater than 100% of the mean values of C. In contrast, site 2 had increased percentage values but below 100%, with the highest values found for Cd, Zn and Pb. Also, the high Zn values were possibly due to traffic (this site was located only 50 m from the highway). There was a gradient from site 1 to 2, for Cd, Ca and Pb, with Mn having the lowest values, implying that the cement plant probably had few stack emissions of this element.

Table 1.3 ANOVA analysis of heavy metal enrichment factors with basal samples (EF_B) and local topsoils (EF_{TS}) in *T. capillaris* exposed at the cement plant in Córdoba, Argentina, between the subareas NE, SW, E, W and C. The LSD Test was applied when significant differences were found ($p < 0.05$).

		C	SW	NE	E	W	ANOVA
Element		Mean $\pm$ S.E	Mean $\pm$ S.E	Mean $\pm$ S.E	Mean $\pm$ S.E	Mean $\pm$ S.E	p – value
EF _B	Ca	1.41 $\pm$ 0.10 a	0.61 $\pm$ 0.27 b	0.87 $\pm$ 0.27 ab	0.72 $\pm$ 0.22 b	0.51 $\pm$ 0.17 b	***
	Mn	1.60 $\pm$ 0.06	1.77 $\pm$ 0.16	1.55 $\pm$ 0.16	1.69 $\pm$ 0.13	1.77 $\pm$ 0.10	0.5386
	Co	0.45 $\pm$ 0.02 a	0.40 $\pm$ 0.05 ab	0.36 $\pm$ 0.05 ab	0.38 $\pm$ 0.04 ab	0.35 $\pm$ 0.03 b	*
	Ni	0.85 $\pm$ 0.04	0.78 $\pm$ 0.11	0.67 $\pm$ 0.11	0.75 $\pm$ 0.09	0.07 $\pm$ 0.07	0.4751
	Cu	1.45 $\pm$ 0.06	1.28 $\pm$ 0.17	1.35 $\pm$ 0.17	1.34 $\pm$ 0.14	1.21 $\pm$ 0.11	0.4076
	Zn	0.45 $\pm$ 0.02 b	0.48 $\pm$ 0.06 ab	0.52 $\pm$ 0.06 ab	0.64 $\pm$ 0.05 a	0.44 $\pm$ 0.04 b	*
	Cd	4.84 $\pm$ 0.34 a	2.24 $\pm$ 0.90 b	1.18 $\pm$ 0.90 b	2.14 $\pm$ 0.73 b	100 $\pm$ 0.57 b	***
	Pb	1.25 $\pm$ 0.07 a	1.07 $\pm$ 0.07 ab	1.00 $\pm$ 0.17 ab	1.27 $\pm$ 0.14 a	0.87 $\pm$ 0.11 b	*
EF _{TS}	Mn	4.01 $\pm$ 0.15	4.44 $\pm$ 0.40	3.90 $\pm$ 0.40	4.23 $\pm$ 0.33	4.44 $\pm$ 0.26	0.5409
	Co	6.28 $\pm$ 0.21 a	5.61 $\pm$ 0.56 ab	4.95 $\pm$ 0.56 b	5.35 $\pm$ 0.46 ab	4.71 $\pm$ 0.39 b	**
	Ni	5.94 $\pm$ 0.29	0.78 $\pm$ 0.77	4.66 $\pm$ 0.77	5.23 $\pm$ 0.63	5.33 $\pm$ 0.49	0.4752
	Cu	33.01 $\pm$ 1.48	29.21 $\pm$ 3.91	30.81 $\pm$ 3.91	30.40 $\pm$ 3.19	27.50 $\pm$ 2.47	0.4069
	Zn	6.02 $\pm$ 0.32 b	6.38 $\pm$ 0.85 ab	6.87 $\pm$ 0.85 ab	8.51 $\pm$ 0.70 a	5.88 $\pm$ 0.54 b	*
	Cd	10.48 $\pm$ 0.74 a	5.02 $\pm$ 1.96 b	2.64 $\pm$ 1.96b	4.13 $\pm$ 1.60 b	2.17 $\pm$ 1.24	***
	Pb	7.67 $\pm$ 0.41 a	6.56 $\pm$ 1.07 ab	6.14 $\pm$ 1.07 ab	7.81 $\pm$ 0.88 a	5.32 $\pm$ 0.68 b	*
	n	30	4	4	6	10	

*Significant at 0.05 probability level. **Significant at 0.01 probability level.

***Significant at 0.001 probability level. n : number of samples/site. No data for Ca at EF_{TS}.^a Values on each horizontal line followed by the same letter do not differ significantly ($p = 0.05$).

In Fig 1.5 the results are presented of a Principal Component Analysis (PCA) from the heavy metal enrichment factors (EF_B) along with isoconcentration maps to identify possible atmospheric pollution sources and the associations between the different sites, with varimax rotation being applied to differentiate the sources better. The Kaisere-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy (KMO) was 0.706, indicating strong correlations. For the variance, 73% was explained by 2 factors, with factor 1 being mainly represented by Cd, Ca and Pb (coefficients > 0.7). The isoconcentration maps show that these elements were directly related to the cement plant emissions with a visible local effect occurring. However, it is also noticeable that the eastern direction was affected, probably due to vehicular traffic emissions, although at minor proportions (coefficients < 0.3). Factor 2 was mainly represented by Zn, Mn, Co, Ni and Cu (coefficients > 0.7), with the isoconcentration maps revealing that these elements were more distributed throughout the study area (this is also noticeable from the ANOVA analysis for Ni, Cu and Mn), and may have originated from vehicular traffic emissions (braking toll gate) and/or soil re-suspension. As Cu, Co and Ni were also related to factor 1 (coefficients < 0.4), they therefore were also associated to the cement plant emissions albeit at minor proportions. Concerning vehicular traffic, according to the European Environmental Agency (EEA, 2007) the major traffic related metal emission sources are brake linings (Cu > Zn > Pb > Ni > Cd), tyre rubbers (Zn > Cu > Pb > Ni > Cd) and asphalt wear (Zn > Pb > Cu > Ni > Cd).

1.3.4 Physiological damage

Table S 1.3 shows the ANOVA analysis for physiological damage among the different subareas considered in this study. The FDI and EC_1 values were similar, with the maximum significant values occurring at C, followed by the E direction, whereas Chl-a and carotenoids both had their lowest values in the C and W directions. Prajapati (2012) postulated that the decrease in total chlorophyll content in the exposed leaves may be attributed to the alkaline condition developed by the solubilization of chemicals present in the dust particles. Related to this, dust

deposition on leaf surfaces alters their optical properties, and the amount of light available for photosynthesis.

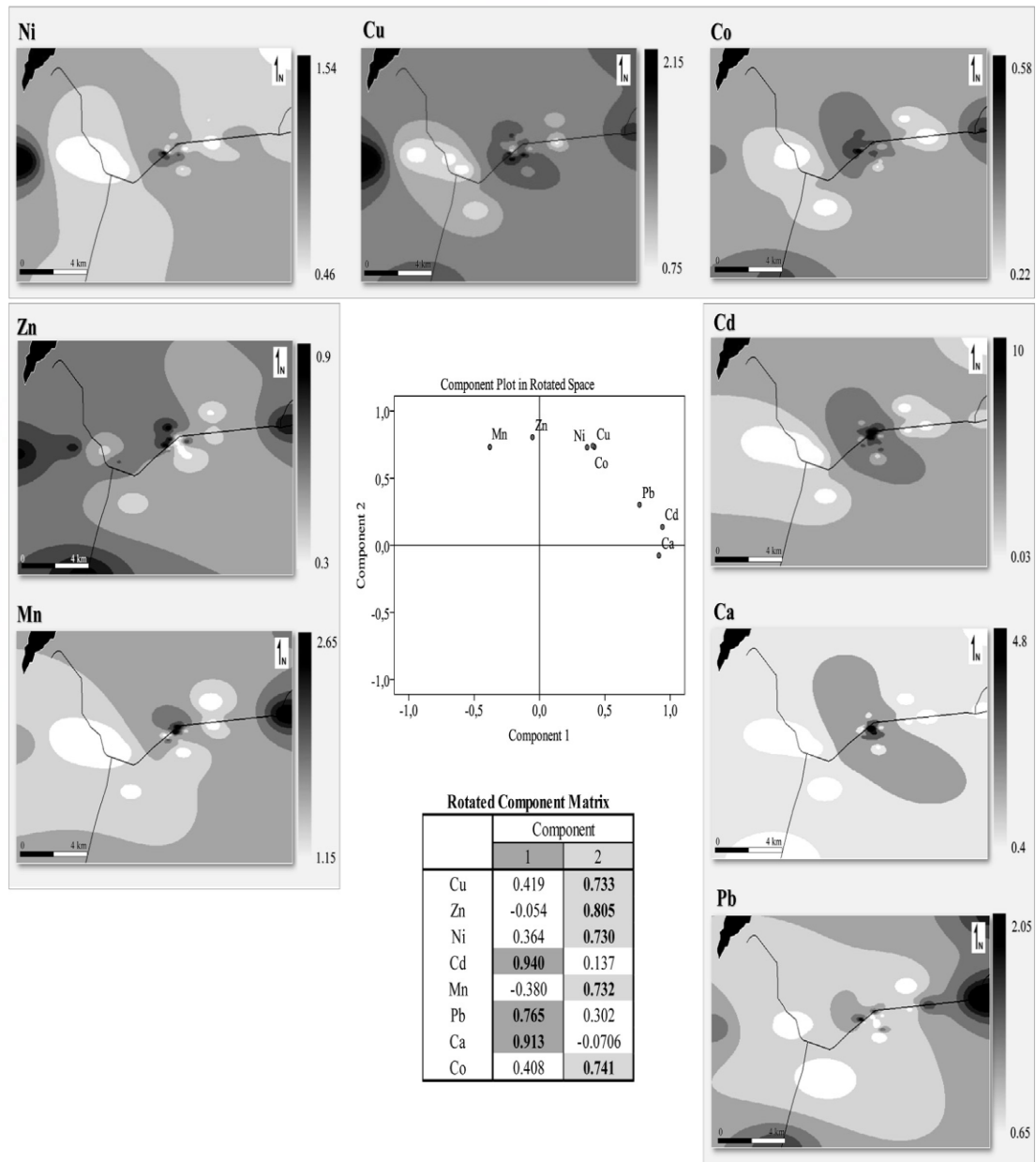


Fig 1.5 Principal Component Analysis with Varimax rotation and isoconcentration maps for heavy metal enrichment factors (EF_B) in *T. capillaris* leaves.

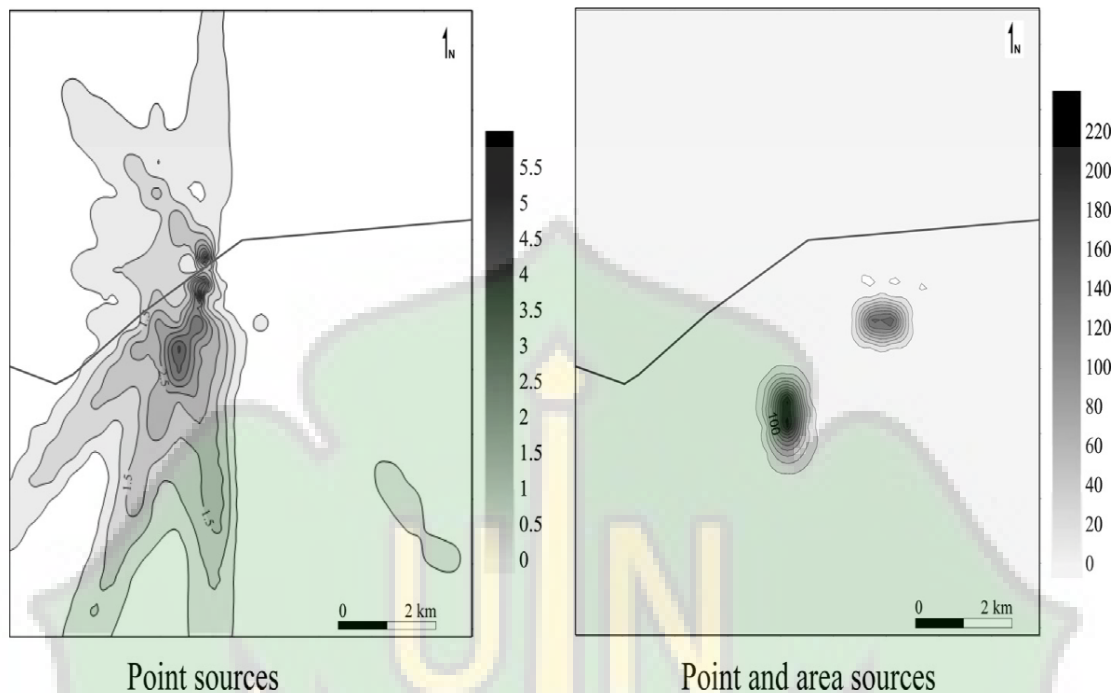


Fig 1.6 Predicted average PM₁₀ concentration values ($\mu\text{g m}^{-3}$) emitted from point and total sources of the cement plant corresponding to the biomonitoring exposure period (September-March 2009/2010). Results obtained from the application of the ISC3 model.

The greatest S values in this study were identified at E, resulting from urban emissions coming from the city of Cordoba. Therefore, despite the fact that S is a pollutant emitted from cement plants (Schuhmacher et al., 2004) in our case the influence of vehicular traffic appeared to be stronger. Similar results were also found by Branquinho et al. (2008) using exposed lichens in the vicinities of a cement plant, and by Carreras and Pignata (2002) who worked at the same plant as the present study.

1.3.5 Atmospheric dispersion modelling of PM₁₀ emissions from the cement plant (emission effects)

1.3.6 Emission rate calculations

The PM₁₀ estimated emission rates were classified as point sources (4 stacks) and area sources (6 active stockpiles and 2 limestone quarries). Information regarding

emission rate calculations can be found at Supplementary material. Table S5 shows the resulting emission rates obtained through the emission factor estimation technique. Stacks had the highest values of emission rates however, when considering the emission areas, the limestone quarries and active stockpiles were the major PM₁₀ sources.

1.3.7 ISCST3 input data

The ISCST3 model was run for PM₁₀ emissions from the cement plant, considering a wide-ranging Cartesian grid of 9 km with a resolution of 400 m x 400 m. Another Cartesian sub-grid of 800 m was created, with a resolution of 200 m x 200 m covering the adjacent area of the stacks and 22 buildings were also included for building aerodynamic downwash calculations. The model required the following meteorological variables for the 7-year study period: wind speed (m s^{-1}); wind vector flow (degrees); temperature (k); Pasquill stability class (1-6); and mixing height (m). A rural dispersion was chosen for the model and the PM₁₀ pollutant type was analyzed. Flagpole receptor heights for 554 receptors were set at 3 m on elevated terrain (m a.s.l.), with the aim of analyzing concentration values ($\mu\text{g m}^{-3}$) that could later be compared with the exposed biomonitors (at 3 m). The model was set up for concentration values over 24 h and the biomonitoring exposure period. All runs included 2 source groups consisting of 4 point sources (cement stacks) and 8 area sources (6 active stockpiles and 2 limestone quarries).

1.3.8 Isoconcentration maps

In order to compare the PM₁₀ concentration values predicted from the atmospheric dispersion model with WHO atmospheric standards (2005), an isoconcentration map was elaborated to represent the summary of the highest concentration obtained over 24 h for 7 years. These results (expressed in $\mu\text{g m}^{-3}$) are shown in Fig. S 1.4, which gives the total PM₁₀ emissions from the cement plant for the 7-year study period (2006-2012), representing the overall and average PM₁₀ impact from the cement plant. There were no significant variations found in the PM₁₀ concentration or dispersion values modelled over the 7 years (data not shown). It is

clear that the greatest PM₁₀ values obtained were from the area sources, which were large exposed areas where the dust was re-suspended by the wind. The area sources, in particular the main limestone quarries, generated the maximum emissions in the study area and showed a markedly local effect, with emissions occurring above ground level. The PM₁₀ levels were within acceptable limits at approximately 800 m from the main limestone quarry and at 100 m from active stockpiles and the smaller quarries.

1.3.9 Relationship between biomonitoring studies and atmospheric dispersion modelling

Fig. 1.6 illustrates isoconcentration maps that represent the summary of the averaged concentration values by receptors ($\mu\text{g m}^{-3}$), obtained for point and total sources during the exposure period from September to March 2009/2010. An impact from stack emissions was observed in the vicinities, which was certainly due to building downwash, considering that the 4 stacks were exceedingly close to large buildings. The model revealed that the emissions from area sources were also confined to the vicinities, without any significant dispersion being shown at the rest of the study area. This was also observed in the biomonitoring study, which identified Ca, Cd and Pb, pH and EC as biomarkers of this cement plant with markedly local effect. Building downwash effects were also detected by the biomonitors, since the highest EFs for the cement plant were observed in C, with two sampling sites (towards the north direction) having the highest values in this study for the heavy metals associated with this cement plant. Towards E, high levels of other heavy metals indicated that the atmospheric source was not just the cement plant (vehicular traffic). Although the effects from other sources were not considered in the model, vehicular traffic emissions and soil resuspension were revealed by the biomonitors, thus allowing a more complete scenario to be formed. The heavy metals Zn, Cu, Ni, Mn and Co were mainly related to these sources.

1.4 Conclusions

The use of biomonitors allowed obtaining a more complete scenario of the atmospheric quality in the region, since different atmospheric sources could be identified and characterised. Ca, Cd and Pb, pH and EC were identified as biomarkers of this cement plant, while Zn, Cu, Ni, Mn and Co were mainly related to vehicular traffic emissions and soil re-suspension. The application of the atmospheric dispersion model ISC3, gave information regarding the behaviour of the cement plant, main contributor of PM₁₀ emissions in the area. This model permitted it to be determined that the emissions from the cement plant (point and area sources) were confined to the vicinities, without significant dispersion in the study area. Building downwash effects were detected by the biomonitors, since the highest EFs were observed in C, with two sampling sites (towards the north direction) having the highest values in this study for the heavy metals associated with this cement plant. Further studies will include on the one hand, the total fraction of heavy metals and trace elements in order to identify and characterize the different atmospheric sources in the study area in more detail, and on the other hand, measured PM₁₀ concentrations in order to validate the results obtained in the model. It is important to emphasize the fact that, as alternative tools for developing atmospheric monitoring studies, biomonitors and the application of atmospheric dispersion models can be useful when applied together, in order to permit more robust and improved predictive atmospheric studies.

1.5 Acknowledgements

This work was partially supported by the Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (FONCyT) and the Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Special thanks to Dr. P. Hobson (native speaker) for language revision and Dr. E.G. Abril (CREAN-IMBIV) for GIS assistance.

REFERENCES

- Abdul-Wahab, S.A., 2006. Impact of fugitive dust emissions from cement plants on nearby communities. *Ecol. Model.* 195, 338e348.
- Adejumo, J.A., Obioh, I.B., Ogunsola, O.J., Akeredolu, F.A., Olaniyi, H.B., Asubiojo, O.I., Oluwole, A.F., Akanle, O.A., Spyrou, N.M., 1994. The atmospheric deposition of major, minor, and trace elements within and around three cement factories. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 179 (2), 195e204.
- Bermudez, G.M.A., Rodriguez, J.H., Pignata, M.L., 2009. Comparison of the air pollution biomonitoring ability of three *Tillandsia* species and the lichen *Ramalina celastri* in Argentina. *Environ. Res.* 109, 6e14.
- Bermudez, G.M.A., Jasan, R., Plá, R., Pignata, M.L., 2012. Heavy metals and trace in atmospheric fall-out: their relationship with topsoil and wheat element composition. *J. Hazard Mater.* 213-214, 447e456.
- Branquinho, C., Gaio-Oliveira, G., Augusto, S., Pinho, P., Maguas, C., Correia, O., 2008. Biomonitoring spatial and temporal impact of atmospheric dust from a cement industry. *Environ. Pollut.* 151, 292e299.
- Carreras, H.A., Pignata, M.L., 2002. Biomonitoring of heavy metals and air quality in Cordoba city, Argentina, using transplanted lichens. *Environ. Pollut.* 117, 77e87.
- EEA, 2007. EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook. Technical Report, 16. European Environmental Agency, Copenhagen. EPA, 1993. Report to Congress on Cement Kiln Dust. Office of Solid Waste.
- EPA, 1995. Emission Factor Documentation for AP-42, Section 11.6. Portland Cement Manufacturing.
- EPA, 1998. Technical Background Document on Control of Fugitive Dust at Cement Manufacturing Facilities, p. 54.
- Franzle, O., 2003. Bioindicators and Environmental Stress Assessment. Elsevier Science Ltd, pp. 41e84.

- Fрати, L., Brunialti, G., Loppi, S., 2005. Problems related to lichen transplants to monitor trace element deposition in repeated surveys: a case study from central Italy. *J. Atm Chem.* 52, 221e230.
- Isikli, B., Demir, T., Akar, T., Berber, A., Urer, S.M., Kalyoncu, C., Canbek, M., 2006. Cadmium exposure from the cement dust emissions: a field study in a rural residence. *Chemosphere* 63, 1546e1552.
- Mandre, M.J., Kloseiko, J., Ots, K., Tuulmets, L., 1999. *Environ. Pollut.* 105, 209e220.
- National Weather Service (NWS), 2012. <http://www.smn.gov.ar/>.
- National Pollutant Inventory (NPI), 2008. Emission Estimation Technique Manual for Cement Manufacturing. Australian Government.
- Onder, S., Dursun, S., Gezgin, S., Demirbas, A., 2007. Determination of heavy metal pollution in grass and soil of city centre green areas (Konya, Turkey). *Polish J. Environ. Stud.* 16, 145e154.
- Pignata, M.L., Gudiño, G.L., Wannaz, E.D., Pla, R.R., Gonzalez, C.M., Carreras, H.A., Orellana, L., 2002. Atmospheric quality and distribution of heavy metals in Argentina employing *Tillandsia capillaris* as a biomonitor. *Environ. Pollut.* 120, 59e68.
- Prajapati, S.K., 2012. Ecological effect of airborne particulate matter on plants. *Environ. Skept. Critics* 1 (1), 12e22.
- Princewill, C., Adanma, N., 2011. Metal concentration in soil and plants in abandoned cement factory. *Int. Conf. Biotechnol. Environ. Manag.* 18, 146e150.
- Schvarzer, J., Petelski, N.C., 2005. La industria del cemento en la Argentina. CESPA, p. 28.
- Schuhmacher, M., Rodriguez-Larena, M.C., Agramunt, M.C., Diaz-Ferrero, J., Domingo, J.L., 2002. Environmental impact of a new hazardous waste incinerator in Catalonia, Spain: PCDD/PCDF levels in herbage samples. *Chemosphere* 48, 187e193.

- Schuhmacher, M., Domingo, L., Garreta, J., 2004. Pollutants emitted by a cement plant: health risks for the population living in the neighborhood. *Environ. Res.* 95 (2), 198e206.
- Schuhmacher, M., Nadal, M., Domingo, L., 2009. Environmental monitoring of PCDD/Fs and metals in the vicinity of a cement plant after using sewage sludge as a secondary fuel. *Chemosphere* 74, 1502e1508.
- Skórzyńska-Polit, E., Tukendorf, A., Selstam, E., Baszyński, T., 1998. Calcium modifies Cd effect on runner bean plants. *Environ. Exp. Bot.* 40, 275e286.
- 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. *Sci. Total Environ.* 361, 267e278.
- Wannaz, E.D., Carreras, H.A., Rodriguez, J.H., Pignata, M.L., 2012. Use of biomonitors for the identification of heavy metals emission sources. *Ecol. Indic.* 20, 163e169.

BAB II

TERJEMAHAN ARTIKEL JURNAL ILMIAH

Biomonitoring Partikulat Matter di Udara yang Dikeluarkan dari Pabrik Semen dan Perbandingannya dengan Hasil Pemodelan Dispersi

Gabriela A. Abril, Eduardo D. Wannaz, Ana C. Mateos, María L. Pignata

Abstrak

Pengaruh pabrik semen yang membakar limbah industri terhadap kualitas udara suatu wilayah di provinsi Córdoba, Argentina, dinilai melalui penelitian biomonitoring (efek emisi) dan dispersi atmosfer (efek emisi) PM_{10} dengan penerapan model ISC3 (Industrial Source Complex) yang dikembangkan oleh USEPA (Environmental Protection Agency). Untuk penelitian biomonitoring, menggunakan sampel dari tumbuhan *epifit Tillandsia capillaris Ruiz & Pav. f. kapilaris* ditransplantasikan (dipindahkan) ke sekitar pabrik semen untuk mengetahui kerusakan fisiologis dan akumulasi logam berat (Ca, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd dan Pb). Untuk penerapan model ISC3, sumber titik dan luas dari pabrik semen dianggap memperoleh hasil rata-rata konsentrasi PM_{10} dari periode paparan biomonitoring. Model ini dapat menentukan bahwa emisi dari pabrik semen (berdasarkan titik dan sumber area) terbatas pada sekitarnya, tanpa penyebaran yang signifikan di wilayah penelitian. Hal ini juga diamati dalam penelitian biomonitoring, yang mengidentifikasi Ca, Cd dan Pb, pH dan konduktivitas listrik (EC) sebagai biomarker pabrik semen. Emisi lalu lintas kendaraan dan suspensi tanah dapat diamati di biomonitor, untuk memberikan informasi yang lebih lengkap. Dalam penelitian ini, penelitian biomonitoring dan penerapan model dispersi secara bersamaan dapat menilai pencemaran di atmosfer secara lebih rinci.

Kata kunci: *Tillandsia capillaris*, Faktor pengayaan logam berat, ISC3, Teknik estimasi faktor emisi, Córdoba.

1.2 Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, baku mutu pencemaran udara pada fasilitas-fasilitas di dalam perindustrian telah ditetapkan dengan sangat ketat. Namun, secara umum masih banyak langkah-langkah pengawasan yang tidak diterapkan sepenuhnya pada negara-negara berkembang. Di Argentina, jumlah penelitian yang terkait dengan atmosfer masih terbilang sangat sedikit dan belum berkualitas. Selain itu, penelitian-penelitian tersebut tidak menjadi perhatian, karena bukan merupakan program utama pemerintah.

Zat partikulat dan polutan umumnya dapat dibawa oleh angin dan disebarkan sebelum mencapai reseptor. Salah satu industri yang dapat menyebabkan pencemaran partikel di udara adalah proses produksi semen, dimana emisi debu yang saat ini menjadi perbincangan utama di lingkungan yang berkaitan dengan proses pembuatan semen (Isikli et al., 2006).

Pabrik semen merupakan industri penyumbang partikulat terbesar di lingkungan mulai dari pemrosesan bahan baku semen dan hasil gas pembakaran. Partikel yang terperangkap dalam gas pembakaran dikeluarkan dari tempat pembakaran melalui pipa asap yang dikenal dengan debu pembakaran semen (CKD) (EPA, 1998), ukuran partikel yang dihasilkan bervariasi mulai dari 0 hingga 5 mm (sekitar ukuran tanah liat) hingga 50 mm (ukuran lanau) (EPA, 1993).

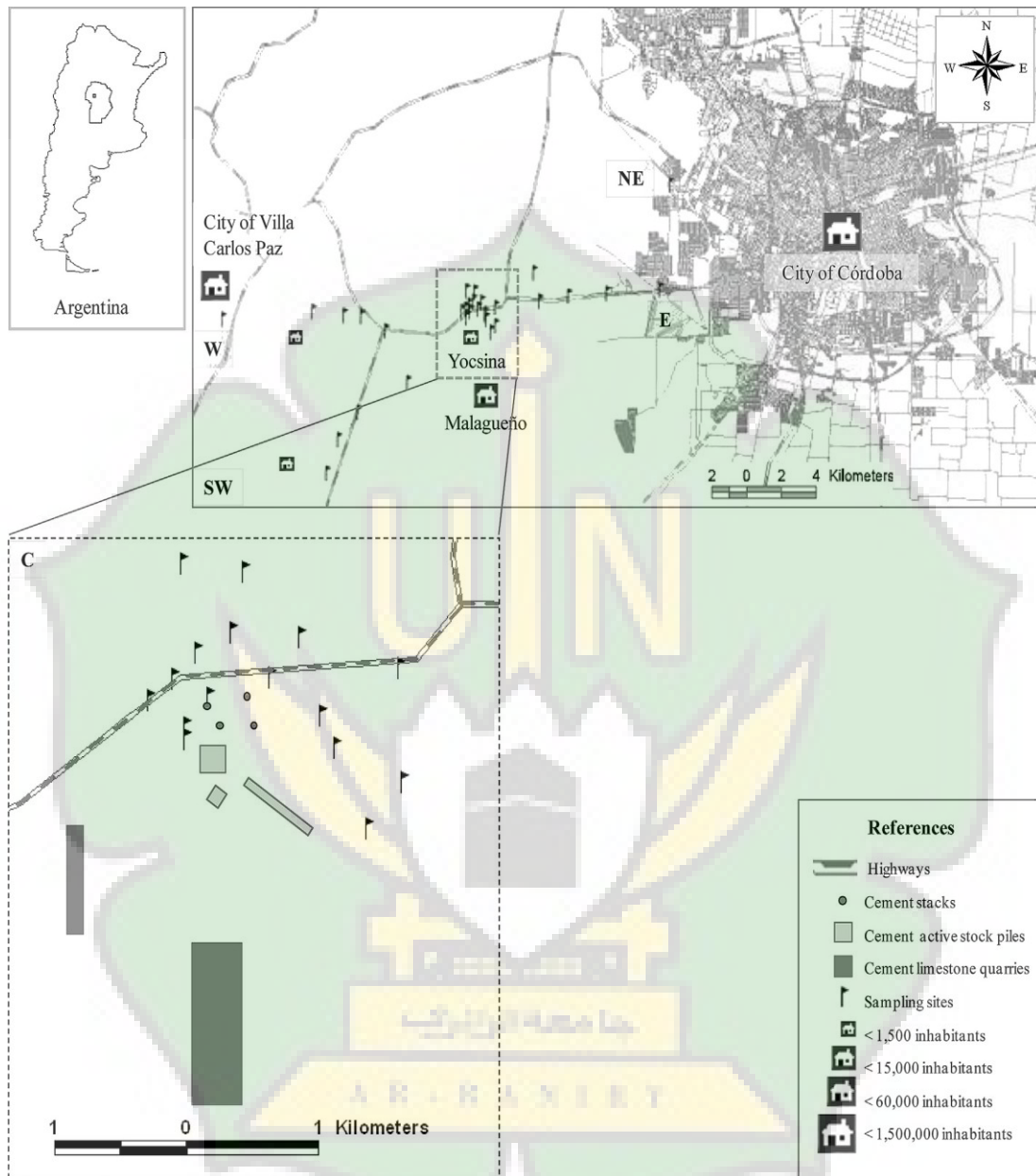
Polusi udara yang berasal dari kegiatan industri dapat mempengaruhi kondisi fisiologis dan biokimia pada tanaman maupun organisme hidup lainnya. Berdasarkan jenis komposisi kimia dan konsentrasi polutan (Mandre et al., 1999). Hasil penelitian sebelumnya diketahui bahwa debu pabrik semen mengandung logam berat beracun diantaranya As, Pb, Ni, Cr, Cu, Zn, Mn, dan Cd, (Adejumo et al., 1994), logam berat ini dapat menyebar luas ke wilayah lain, yang dibawa oleh angin maupun hujan, sehingga dapat terakumulasi pada tanaman, hewan dan tanah, juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia (Isikli et al., 2006).

Penelitian lingkungan menggunakan biomonitoring dapat menilai kualitas udara di lokasi pabrik semen. Pemantauan lingkungan menggunakan organisme hidup dapat mengukur dampak dari polutan (efek emisi) pada ekosistem dan dapat diterapkan sebagai perlindungan terhadap lingkungan (Franzle, 2003). Lichens (lumut kerak) dan beberapa tanaman lainnya banyak digunakan dalam penelitian biomonitoring polusi udara (Pignata et al., 2002).

Sebagai alternatif lain dari penelitian biomonitoring, sumber emisi juga dapat dinilai dengan menggunakan analisis pemodelan dispersi, dengan penerapan model dispersi atmosfer, bahwasannya saat ini masih kurangnya penelitian mengenai atmosfer sehingga dibutuhkan alat prediksi untuk mempertimbangkan dalam melindungi kesehatan manusia. Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah ISC3, yang dikembangkan oleh EPA sebagai aplikasi regulasi untuk memperkirakan konsentrasi ambien. Model ini bertujuan untuk menilai dispersi emisi PM_{10} atmosfer (efek emisi) yang berasal dari industri pabrik semen.

Argentina saat ini telah memiliki tujuh belas pabrik semen, dimana dua diantaranya berlokasi di provinsi Cordoba dan saat ini telah menghasilkan produksi semen sebanyak 2.700.000 ton / tahun (metrik ton), sudah mewakili 16,3% dari produksi semen nasional (Schvarzer dan Petelski, 2005).

Tujuan penelitian ini adalah untuk menilai emisi polutan udara dari pabrik semen yang terletak di provinsi Cordoba, Argentina dengan pemodelan disperse partikel (PM_{10}) dan penelitian biomonitoring polusi udara.

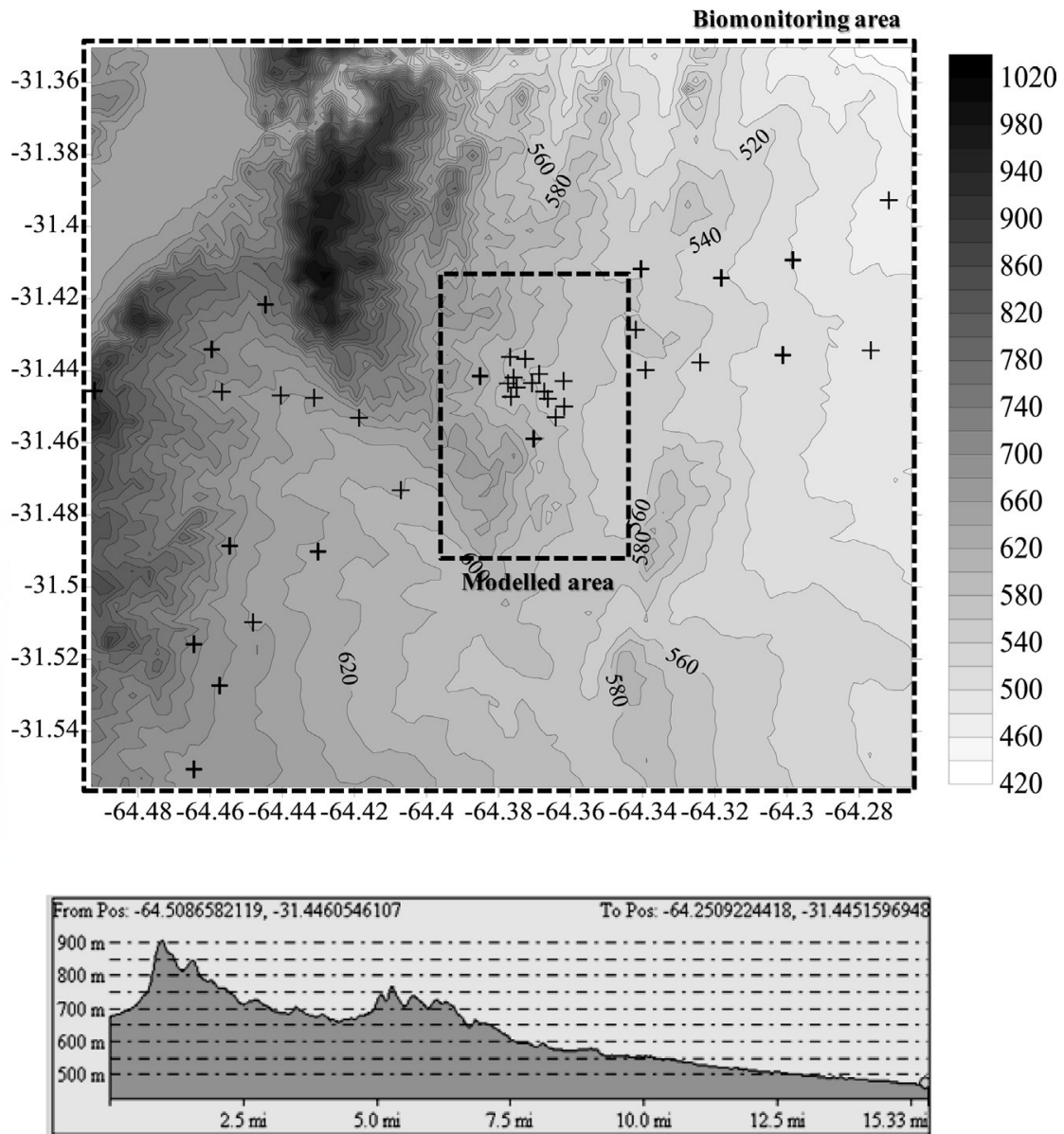


Gambar 2.1 Lokasi area penelitian di Provinsi Córdoba, mengidentifikasi lokasi pengambilan sampel, pabrik semen, dan mengkategorikan subareas (NE, SW, E, W, C).

2. 2 Kajian Teori dan Metode penelitian

2.2.1 Deskripsi wilayah penelitian dan lokasi pengambilan sampel

Gambar 2.1 menunjukkan lokasi pengambilan sampel. Daerah penelitian mencakup beberapa kota, yang memiliki titik fokus di Yocsina yang ditunjuk dalam penelitian ini sebagai C), yang terletak 18 km dari arah Barat Daya (SW) dari kota Cordoba. Kota ini memiliki populasi 5.000 jiwa dan telah mengembangkan profil industri, terutama karena pabrik semennya. Daerah ini menyajikan topografi yang beragam, mulai dari 420 hingga 1020 m dpl (Gambar 2.2) dengan arah timur (E) dari pabrik semen sebagai akses utama ke kota Cordoba, terdapat lalu lintas kendaraan yang intens dan konstan sekitar 1852 kendaraan / jam (hasil tidak dipublikasikan, Munisipalitas Cordoba, 2012). Menuju ke barat adalah kota Villa Carlos Paz, sebagai batas topografi dengan area yang diteliti. Di arah timur laut dari pabrik semen (NE), terdapat kegiatan pertanian dengan kedelai dan gandum menjadi tanaman utama yang dibudidayakan di daerah ini. Arah selatan (S) dan barat daya (SW) mengarah ke tambang batu kapur yang terhubung dengan pabrik semen, di luar perumahan pribadi dan bidang pertanian. Potensi PM dan sumber logam berat yang diidentifikasi di wilayah studi adalah: kegiatan industri (pabrik semen), lalu lintas kendaraan, dan pertanian. Lokasi pengambilan sampel dipilih dengan distribusi radial yang mengelilingi pabrik semen (C) dan dengan distribusi linier untuk menilai efek angin yang ada (NE dan SW) dan mempengaruhi kota Cordoba dan Villa Carlos Paz (E dan W).



Gambar. 2.2 DEM dan profil topografi biomonitoring dan model area yang diteliti. Catatan Kaki: Ikon-ikon tersebut mewakili lokasi situs pengambilan sampel dan batas garis putus-putus area biomonitoring dan model.

2.2.3 Variabel meteorologi di lokasi penelitian

Sebagian besar penelitian pemodelan udara, menyarankan untuk mengumpulkan data pada setiap lima tahun per-jam dari layanan cuaca nasional. Mawar angin menggambarkan untuk menjelaskan vektor aliran (arah angin bertiup)

untuk periode 2006 - 2012 dari data yang disediakan oleh Layanan Cuaca Nasional (2012), stasiun bandara Córdoba, yang terletak sekitar 12 km NE di sebelah timur laut dari wilayah penelitian. Informasi mengenai validasi data meteorologis dapat dilihat pada (Gambar 2.1). Dari arah angin naik pada (Gambar 2.2) bahwa arah angin utama adalah yang bertiup ke arah selatan barat daya (SSW), selatan (S) dan barat daya (SW), dan ini juga dapat diamati selama periode paparan biomonitoring: "musim semi, 2009" dan "musim panas, 2010". (Gambar 2.3), di musim semi, lebih sedikit peristiwa periode tenang (26%) dibandingkan dengan musim panas (42%), dan angin kencang lebih sering terjadi yang berasal dari arah selatan (S).

2.2.3 Deskripsi singkat tentang pabrik semen

Pabrik semen mulai beroperasi pada tahun 1963 dan saat ini memiliki kapasitas produksi 1.200.000 ton (metrik ton) semen dan 540.000 ton pembakaran per tahun (Schvarzer dan Petelski, 2005). Sumber emisi PM utama dari proses produksi meliputi: tambang batu kapur dan timbunan aktif (sumber area), penggilingan klinker dan pendinginan, dan penggilingan semen (sumber titik). Sejak 1994, pabrik semen telah menggunakan teknologi yang disebut "blending", yang terdiri dari retrofit limbah industri dengan tujuan menggunakannya sebagai bahan bakar alternatif dan mengurangi biaya karena konsumsi gas alam yang tinggi (menghasilkan 25% bahan bakar alternatif dan 75% bahan bakar konvensional).

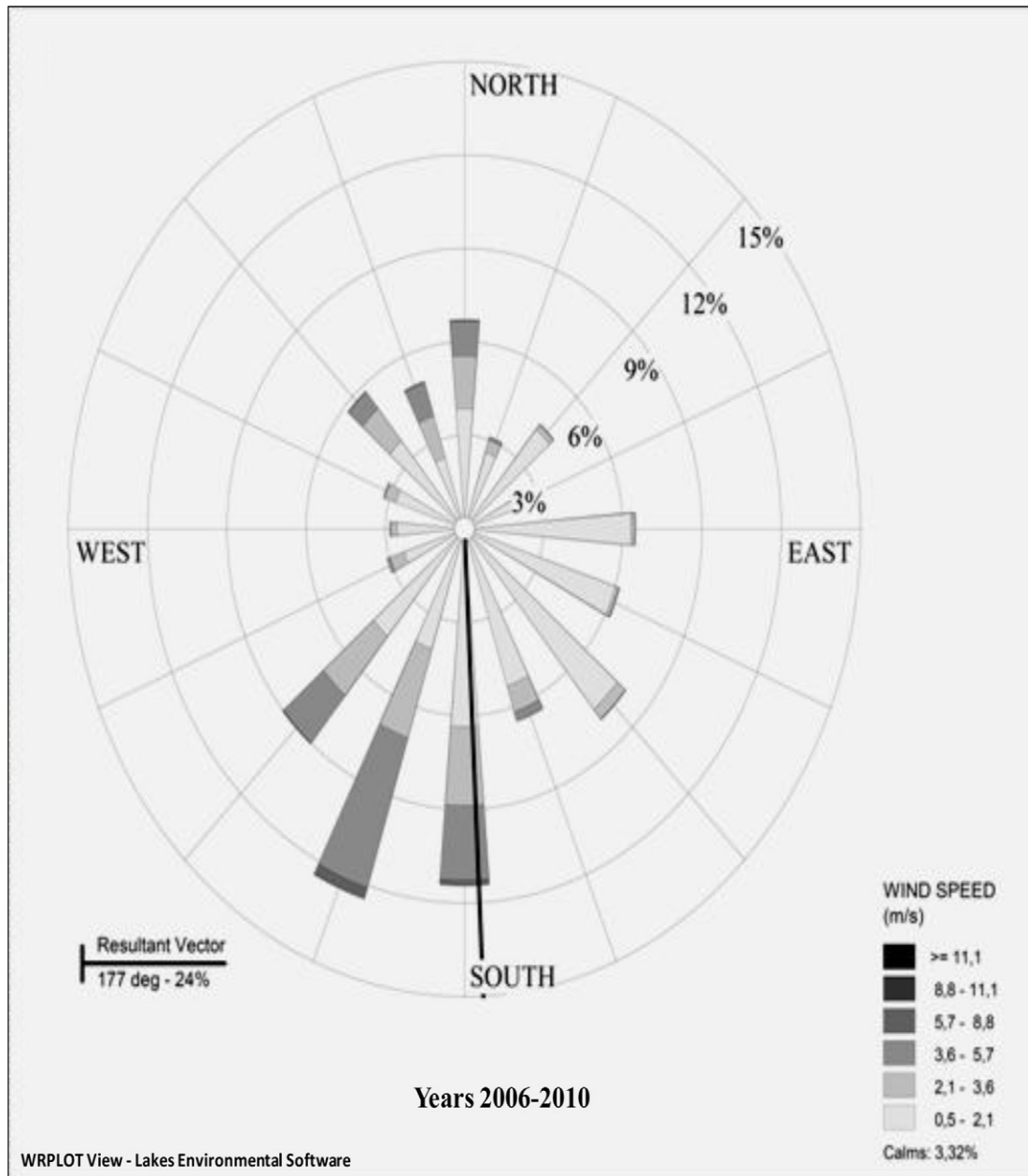
2.2.4 Bahan biologis dan persiapan sampel

Tanaman *Tillandsia capillaris* Ruiz & Pav. f. *capillaris* dikumpulkan di Dique la Quebrada, Provinsi Córdoba, yang terletak 38 km Barat Laut (NW) dari ibu kota. Cagar alam ini dianggap sebagai situs yang tidak tercemar, di mana komposisi dasar tanaman ini praktis tidak berubah selama bertahun-tahun. *T. capillaris* sebelumnya telah digunakan dalam penelitian biomonitoring lain yang dilakukan oleh kelompok penelitian kami dan telah terbukti bertindak sebagai biomonitor respons dan akumulasi yang baik dalam penilaian kualitas atmosfer

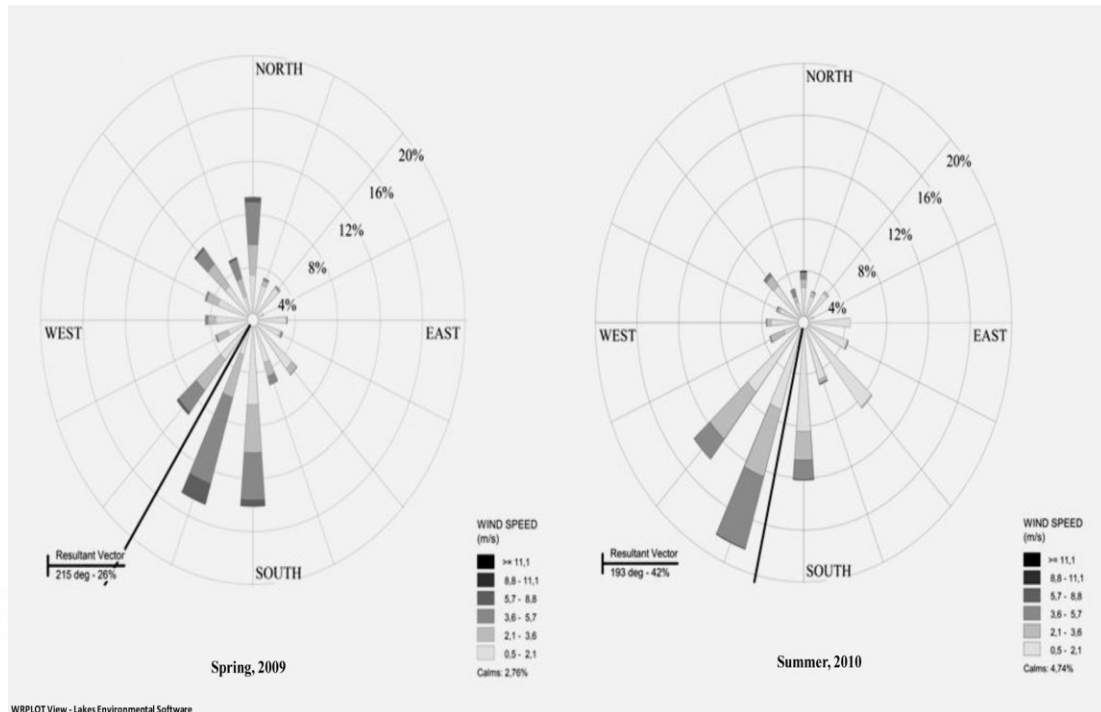
(Pignata et al., 2002; Wannaz et al. ., 2012). Informasi lebih lanjut mengenai spesies biomonitoring ini dapat ditemukan di bagian pelengkap/tambahan.

2.2.5 Biomonitoring aktif dan periode paparan

Kantong bersih berisi 8-10 tanaman disiapkan menurut (Wannaz et al., 2006) dan dipindahkan ke area penelitian ($n = 3$ kantong / lokasi). Sampel diletakkan 3 m di atas permukaan tanah dan dipaparkan selama 3 bulan (20 September 21 Desember 2009) dan 6 bulan (20 September 20 Maret 2009/2010) di 30 lokasi. Setelah periode pencahayaan selesai, tanaman dikumpulkan dengan hati-hati dan diletakkan didalam kantong kertas. Untuk periode 3 bulan, sebagian dari bahan tersebut dipisahkan untuk menentukan pH_1 , EC_1 (konduktivitas listrik), kandungan air dan sulfur, sedangkan sisanya disimpan dalam botol plastik di $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ dalam gelap untuk penentuan fisiologis berikutnya. Untuk periode 6 bulan, bagian dari bahan dipisahkan untuk menentukan pH_2 dan EC_2 , dan sisanya dimasukkan kedalam oven pada suhu $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama dua minggu untuk penentuan kadar logam berat. Prosedur yang sama digunakan pada sampel basal untuk mengevaluasi kerusakan fisiologis dan akumulasi logam berat untuk mendapatkan kondisi dasar..



Gambar 2.3 Angin naik untuk periode 2006-2012. Data disediakan oleh Layanan Cuaca Nasional, Stasiun Bandara Cordoba



Gambar 2.4 Mawar Angin musiman sesuai dengan periode paparan biomonitoring (Spring, 2009 dan Summer, 2010). Dari data yang disediakan oleh Layanan Cuaca Nasional, stasiun bandara Cordoba.

2.2.6 Penentuan fisiologis

Tiga sub-sampel *T. capillaris* diambil dari masing-masing lokasi penelitian setelah periode pencahayaan selesai. Penghitungan klorofil a (Chl-a), klorofil b (Chl-b), phaeophytin a (Ph-a), phaeophytin b (Ph-b), karotenoid (Karot), malondialdehyde (MDA), diena terkonjugasi hidroperoksi (HPCD), kandungan sulfur (S) dan rasio berat kering (DW) atau berat basah (FW) dilakukan dengan menggunakan prosedur yang telah dijelaskan oleh Pignata et al. (2002). Indeks Kerusakan Foliar (FDI) dihitung dengan menggabungkan variasi dalam parameter kimia (biomarker) untuk menilai tekanan akibat polusi atmosfer (Pignata et al., 2002). Penjelasan lebih lanjut mengenai Indeks Kerusakan Foliar dapat dilihat di materi tambahan.

2.2.7 Penentuan kandungan logam berat

Untuk kandungan logam berat, 2,5 g berat kering sampel daun *T. capillaris* direduksi menjadi abu dalam oven (pemanasan) pada suhu 450°C selama 4 jam sampai menjadi abu. Abu ini kemudian dilarutkan dengan HNO₃ pekat (65% Merck, Jerman), setelah masing-masing sampel dimasukkan kedalam botol plastik dan disimpan selama 24 jam di tempat yang tertutup. Kemudian sampel disaring dua kali pengulangan menggunakan kertas saring berukuran 2 µm (Munktell, Jerman), dan dibawa ke volume akhir 25 mL air ultra murni, sebelum dipindahkan ke tabung gelap ukuran 50 mL. Larutan asam dianalisis dengan sinar spektrometri serapan atom (FAAS) untuk menentukan konsentrasi Ca, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd dan Pb, dan hasilnya dinyatakan dalam µg g⁻¹ DW.

2.2.8 Pengukuran kualitas sampel

Untuk menilai prosedur destruksi dan untuk memeriksa keakuratan penentuan logam berat, di laboratorium yang disahkan (Institute of Nuclear Chemistry and Teknologi) dua sampel replika (sampel eksperimen) sebagai bahan referensi yaitu daun tembakau oriental “CTA-OTL-1” disiapkan sepuluh sampel dan dilakukan dengan perlakuan yang sama. Nilai untuk semua sampel kosong (sampel yang belum terkontaminasi) mendekati atau kurang dari batas deteksi FAAS, dan hasilnya antara 79% (Fe) dan 92% (Zn) dengan koefisien variasi (CV) ≤ 16% (Tabel S 2.1- materi tambahan).

2.2.9 Analisis statistik

Berdasarkan analisis statistik penentuan nilai rata-rata dilakukan pada tiga titik sampel yang diambil dari masing-masing lokasi penelitian. Hipotesis normalitas diuji menggunakan Shapiro-Wilk (S-W) dan variabel LOG₁₀. Analisis korelasi bertujuan untuk menilai hubungan antara faktor pengayaan logam berat dengan jarak pabrik semen (koefisien korelasi Pearson). Analisis varians (ANOVA) dilakukan untuk setiap parameter pada area yang berbeda (C, NE, E, W dan SW), dan sementara hipotesis ANOVA tidak valid dengan tingkat signifikansi < 0,05; perbandingan post-

hoc (uji lanjut) dilakukan untuk menentukan hubungan perbedaan yang tidak signifikan / Least Significant Difference (LSD). Analisis komponen utama (PCA) digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan sumber pencemaran atmosfer dan hubungan antara lokasi yang berbeda.

Tabel 2.1 Statistik deskriptif untuk logam berat dan kerusakan fisiologis pada sampel *T. capillaris* yang terpapar di pabrik semen di kota Córdoba, Argentina.

Variabel	Units	<i>n</i>	Mean	S.E	% C.V	Minimum	Maximum
Cu	$\mu\text{g g}^{-1}$ DW	54	14.69	0.56	28.14	8.33	29.70
Zn	$\mu\text{g g}^{-1}$ DW	54	29.21	0.89	22.41	20.48	44.46
Ni	$\mu\text{g g}^{-1}$ DW	54	6.23	0.24	28.68	3.67	12.42
Cd	$\mu\text{g g}^{-1}$ DW	54	0.32	0.04	97.25	0.00	1.64
Mn	$\mu\text{g g}^{-1}$ DW	54	118	3	19	74	161
Pb	$\mu\text{g g}^{-1}$ DW	54	6.89	0.48	51.25	2.55	22.67
Fe	$\mu\text{g g}^{-1}$ DW	54	2728	95	25.63	1447	4971
Ca	$\mu\text{g g}^{-1}$ DW	54	13.722	1899	101.71	3390	85.603
Chl-a	mg g^{-1} DW	90	1.65	0.06	35.62	0.34	2.81
Chl-b	mg g^{-1} DW	90	0.74	0.03	36.84	0.14	1.30
Ph-a	mg g^{-1} DW	90	1.92	0.07	33.85	0.50	3.49
Ph-b	mg g^{-1} DW	90	0.77	0.03	33.03	0.20	1.39
Carot.	mg g^{-1} DW	90	0.32	0.01	39.19	0.04	0.57
HPCD	$\mu\text{mol g}^{-1}$ DW	90	12.28	0.64	47.46	1.94	28.54
MDA	nmol g^{-1} DW	90	112	3	27	71	229
S	mg g^{-1} DW	90	1.22	0.04	32.78	0.51	2.41
Ph-a/Chl-a	-	90	1.01	0.02	14.83	0.84	1.43
Ph-b/Chl-b	-	90	0.44	0.01	8.04	0.31	0.52
DW/FW	-	90	0.27	0.01	24.16	0.47	0.42
FDI	-	90	2.10	0.08	38.23	5.95	4.47
pH ₁	-	90	7.10	0.06	7.64	5.95	8.40
EC ₁	$\mu\text{S cm}^{-1} \text{mL}^{-1} \text{g}^{-1} \text{FW}$	90	0.41	0.02	58.42	0,08	1.27
pH ₂	-	48	6.86	0.10	9.73	5.68	8.44
EC ₂	$\mu\text{S cm}^{-1} \text{mL}^{-1} \text{g}^{-1} \text{FW}$	48	0.69	0.12	116.18	0.19	3.89

S.E. =Tingkat Kerusakan; % C.V.= persen Koefisien Variasi.

2.2.10 Pemilihan biomarker dari pabrik semen

Menggunakan analisis statistik dan analisis bibliografi variabel fisiologis dan akumulasi logam berat (Skórzyn'ska-Polit et al., 1998; Mandre et al., 1999; Isikli et al., 2006; Branquinho et al., 2008) biomarker pabrik semen ini dipilih untuk mengidentifikasi efek emisi dan membandingkannya dengan efek emisi.

2.2.11 Pemodelan dispersi atmosferik PM₁₀ dengan ISC3

Untuk menilai dispersi atmosfer PM₁₀ di wilayah penelitian (EPA, 1995; Abdul-Wahab, 2006; NPI, 2008), model ISCST3 (Kompleks Sumber Industri Jangka Pendek, versi ketiga) digunakan (Schuhmacher et al., 2004). Model Jangka Pendek ISC menggunakan catatan data meteorologi per-jam untuk menentukan kondisi kenaikan plume, transportasi, difusi, dan deposisi. Kemudian memperkirakan nilai konsentrasi atau deposisi dari masing-masing sumber dan kombinasi reseptor setiap jam, dan untuk menghitung rata-rata jangka pendek (EPA, 1995).

Hasil dari penelitian biomonitoring dan perkiraan konsentrasi rata-rata PM₁₀ diwakili secara grafis menggunakan IDRISI Selva GIS dan perangkat lunak Imagery Processing.

2.3 Hasil dan Pembahasan

2.3.1 Penelitian biomonitoring menggunakan *T. Capillaris* (efek emisi)

2.3.2 Statistik deskriptif

Nilai rata-rata, minimum dan maksimum dihitung dan dibandingkan dengan cara yang sama. Tabel 2.1 menunjukkan statistik deskriptif untuk akumulasi logam berat dan kerusakan fisiologis pada sampel *T. capillaris* yang ditransplantasikan ke Yocsina. Bermudez et al. (2012) menganalisis komposisi unsur sampel deposisi massal di Provinsi Córdoba dan menemukan bahwa Yocsina memiliki tingkat deposisi tertinggi untuk Ca, dengan perbedaan hingga 2 kali lipat lebih besar dari pada daerah sampel lainnya. Dalam penelitian ini, akumulasi Ca pada tanaman *T. capillaris* berjumlah lebih tinggi di lokasi yang terletak di sekitar pabrik semen. Sehubungan dengan konsentrasi Cd, ini berkisar dari 0,03 hingga 1,64 $\mu\text{g g}^{-1}$ DW, yang artinya ini lebih tinggi dari spesies tanaman kayu, yang berkisar dari 0,001 $\mu\text{g g}^{-1}$ DW (*Gmelina arborea*) hingga 0,130 $\mu\text{g g}^{-1}$ DW (*Mangifera indica*) (Princewill dan

Adanma, 2011) dan yang di rumput ($0,085-0,186 \mu\text{g g}^{-1} \text{ DW}$) atau *Piptatherum sp.* ($0,00-0,06 \mu\text{g g}^{-1} \text{ DW}$) di sekitar pabrik semen di Konya, Turki (Onder et al., 2007) dan Vallcarca, Spanyol (Schuhmacher et al., 2009). Selain itu, konsentrasi Cu, Mn, Ni, Pb dan Zn lebih tinggi daripada yang ditemukan dalam sampel herba yang dikumpulkan di sekitar pabrik semen di Spanyol (Schuhmacher et al., 2002). Konsentrasi S ($2,235 \pm 0,107 \text{ mg g}^{-1} \text{ DW}$) dan Zn ($57,25 \pm 17,98 \mu\text{g g}^{-1} \text{ DW}$) ditemukan dalam sampel *T. capillaris* yang masing-masing terpapar selama 3 dan 6 bulan, di lokasi industri di Provinsi Cordoba. Bermudez et. Al. (2009) menyatakan Fe ($1829 \pm 185 \text{ mg g}^{-1} \text{ DW}$) secara signifikan lebih rendah, dan nilai Mn ($118,10 \pm 16,15 \mu\text{g g}^{-1} \text{ DW}$) juga sama.

2.3.3 Faktor pengayaan logam berat

Perhitungan faktor pengayaan logam berat (EF) dalam sampel *T. capillaris*, baik dalam kaitannya dengan kondisi dasar (EF_B), atau komposisi tanah lokal (EF_{TS}), telah digunakan untuk mengevaluasi sumber emisi logam (alami atau antropogenik). Informasi mengenai perhitungan EF dapat ditemukan dalam materi Pelengkap. Komposisi logam berat pada tanah lapisan atas dari daerah penelitian digunakan untuk menghitung geokimia regional dan sebagai gambaran tentang asal-usul elemen (Tabel 2.2). Gambar 2.2 dan gambar 2.3 menggambarkan nilai rata-rata EF_B dan EF_{TS} untuk logam berat secara keseluruhan. Dengan mempertimbangkan skala yang dinyatakan oleh Frati et al. (2005), nilai-nilai EF_B menunjukkan akumulasi Cd (C, E dan SW) yang parah dan akumulasi Ca (C), Mn (semua situs), Cu (semua situs), Cd (NE) dan Pb (C dan E)). Nilai rata-rata EF_{TS} untuk semua elemen yang diteliti lebih besar dari 3, menunjukkan input antropogenik. EF yang jauh lebih tinggi ditemukan pada Cu sama dengan hasil penelitian Bermudez et al. (2012) dalam sampel pengendapan massal di 10 lokasi berbeda yang terletak di provinsi Córdoba (merupakan wilayah penelitian). Ini mengindikasikan bahwa Cordoba dipengaruhi oleh konsentrasi Cu yang besar, mungkin karena emisi lalu lintas kendaraan.

Tabel 2.2 Matriks korelasi untuk faktor pengayaan logam berat (EF_B), pH dan EC diukur pada daun *T. capillaris*, mempertimbangkan jarak dari pabrik semen di Cordoba, Argentina (Koefisien Korelasi Pearson).

	pH ₁	EC ₁	EF Cu	EF Zn	EF Ni	EF Cd	EF Mn	EF Pb	EF Ca	EF C ₀	pH ₂	EC ₂	Dist.C.
pH ₁	1												
EC ₁	0.63***	1											
EF Cu	ns	ns	1										
EF Zn	ns	ns	0.39**	1									
EF Ni	ns	ns	0.86***	ns	1								
EF Cd	0.77***	0.59***	0.33*	ns	0.33*	1							
EF Mn	ns	ns	Ns	0.48**	ns	ns	1						
EF Pb	0.57	0.53***	0.41**	0.50***	0.35*	0.72***	ns	1					
EF Ca	0.71	0.79***	ns	ns	Ns	0.82***	-0.32*	0.65***	1				
EF C ₀	0.50	0.31*	0.59***	0.37*	0.50***	0.55***	0.35*	0.61***	0.32*	1			
pH ₂	0.65	0.41**	ns	ns	ns	0.65***	-0.338	ns	0.48**	ns	1		
EC ₂	0.36*	ns	ns	ns	ns	0.39**	Ns	ns	0.49***	ns	0.59***	1	
Dist.C.	-0.53***	-.36*	0.33*	0.53***	ns	-0.47***	0.39**	ns	-0.48	ns	-0.55***	ns	1

* Signifikan pada tingkat probabilitas 0,05.** Signifikan pada tingkat probabilitas 0,01.*** Signifikan pada tingkat probabilitas 0,001. ns: tidak signifikan. pH₁ dan EC₁: diukur pada periode paparan/pencahayaannya 3 bulan. pH₂ dan EC₂: diukur pada periodepaparan 6 bulan. Dist. C: Jarak dari Pabrik Semen (km).

Koefisien korelasi person digunakan untuk mengetahui hubungan setiap unsur yang terkandung dalam sampel tanaman yang sudah terpapar cahaya (EF_B). Perhitungan ini disajikan di tabel 2.2 dalam bentuk matriks. Cd, Ca, pH₁, pH₂ dan EC₁ memiliki hubungan negatif dengan jarak pabrik semen (km). Hasil penelitian ini juga didukung oleh penelitian Branquinho et al. (2008) bahwa nilai Ca menurun saat jarak pabrik meningkat (jauh), melalui pengamatan dua spesies tanaman. Memiliki

hubungan antara Cd dan Ca ($r = 0,82$), menunjukkan bahwa elemen ini berasal dari emisi pabrik semen (Isikli et al., 2006). Pb berkorelasi positif dengan Cd dan Ca, dan juga dengan Co, EC₁, Zn dan Cu, menunjukkan bahwa Pb berasal lebih dari satu sumber polusi atmosfer (Wannaz et al., 2012). Selanjutnya, Cu dan Ni memiliki berkorelasi positif, namun masih perlu dilakukan evaluasi lanjutan apakah ini berasal dari sektor pertanian atau industri.

EF_B dan EF_{TS} menunjukkan kesamaan dalam analisis ANOVA antara sub-area (NE, SW, E, W dan C) (Tabel 3.1), menunjukkan bahwa efek yang sama sedang diamati, dan juga ada interaksi udara / tanaman-tanah yang kuat. Mn, Ni dan Cu tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan di setiap situs/area, sedangkan Cd dan Ca sangat banyak di sekitaran pabrik semen. Korelasi yang tinggi antara Cd dan Ca disebabkan karena Cd diserap oleh tanaman melalui jalur perpindahan Ca (Skórzyn'ska-Polit et al., 1998). Oleh karena itu keberadaan Cd di daerah penelitian ditentukan oleh tingkat Ca yang terjadi dalam sel tanaman. Nilai Ca tidak berbeda secara signifikan antara area C dan NE, artinya dispersi elemen ini (sebagian besar) menuju kedua arah tersebut. Faktanya, Ca tidak hanya dihasilkan dari tumpukan (sumber titik) tetapi juga dari sumber daerah (emisi debu buron), yang dihasilkan di permukaan tanah oleh suspensi angin (Abdul-Wahab, 2006). Zn menunjukkan nilai yang signifikan (area E, NE dan SW), dan mungkin adanya hubungan dengan emisi lalu lintas kendaraan, dilihat dari nilai tertinggi ditemukan menuju area E, yang merupakan salah satu akses utama ke kota Córdoba, yang ditandai dengan angka kendaraan yang tinggi. Pb banyak ditemukan di sebagian besar lokasi, terutama di area C dan E, yang menunjukkan bahwa Pb tidak hanya berasal dari pabrik semen tetapi juga dapat berasal dari emisi lalu lintas (Wannaz et al., 2012).

Ada dua lokasi di area C yang menunjukkan kandungan logam berat yang tinggi untuk sebagian besar elemen yang diteliti (Tabel 2.3). Lokasi ini terletak paling dekat dengan tumpukan pendingin klinker pabrik semen dengan jarak 90 m pada (lokasi 1) dan 350 m (lokasi 2), hal ini dapat dipengaruhi oleh *downwash* (perubahan arah angin). Umumnya, sumber utama emisi atmosfer dari tumpukan

semen berasal dari tempat pembakaran klinker, dan ketika tempat pembakaran (kiln) ini menggunakan limbah organik sebagai bahan bakar alternatif, emisi tersebut mengandung logam berat dan senyawanya, HF, HC₁, dioksin, dan furan (Schuhmacher et al. , 2002). Pada lokasi 1 terdapat kandungan logam berat yang tinggi dibandingkan dengan di lokasi 2, dimana pada lokasi 1 ini diketahui bahwa logam berat Ca, Cd dan Pb memiliki nilai rata-rata di atas 100% pada area C. sedangkan pada lokasi 2 ditemukan logam berat Cd, Zn dan Pb yang memiliki nilai persentase rata-rata di bawah 100 %. Nilai Zn kemungkinan disebabkan oleh lalu lintas karena lokasi ini berjarak 50 meter dari jalan raya. Terdapat tanjakan tajam dari lokasi 1 ke 2, oleh sebab itu nilai Ca, Cd dan Pb rendah. Dengan jarak 50 meter dari jalan raya dapat disimpulkan bahwa emisi yang dihasilkan lebih besar dari lalu lintas dibandingkan dari pabrik semen.

Tabel 2.3 Analisis ANOVA untuk faktor pengayaan logam berat dengan sampel basal (EF_B) dan tanah lapisan atas (EF_{TS}) di tanaman *T. capillaris* di pabrik semen di Córdoba, Argentina, antara sub-area NE, SW, E, W, dan C. Uji LSD diterapkan ketika perbedaan signifikan ditemukan ($p < 0,05$).

		C	SW	NE	E	W	ANOVA
Element		Mean $\pm$ S.E	Mean $\pm$ S.E	Mean $\pm$ S.E	Mean $\pm$ S.E	Mean $\pm$ S.E	p — value
EF _B	Ca	1.41 $\pm$ 0.10 a	0.61 $\pm$ 0.27 b	0.87 $\pm$ 0.27 ab	0.72 $\pm$ 0.22 b	0.51 $\pm$ 0.17 b	***
	Mn	1.60 $\pm$ 0.06	1.77 $\pm$ 0.16	1.55 $\pm$ 0.16	1.69 $\pm$ 0.13	1.77 $\pm$ 0.10	0.5386
	Co	0.45 $\pm$ 0.02 a	0.40 $\pm$ 0.05 ab	0.36 $\pm$ 0.05 ab	0.38 $\pm$ 0.04 ab	0.35 $\pm$ 0.03 b	*
	Ni	0.85 $\pm$ 0.04	0.78 $\pm$ 0.11	0.67 $\pm$ 0.11	0.75 $\pm$ 0.09	0.07 $\pm$ 0.07	0.4751
	Cu	1.45 $\pm$ 0.06	1.28 $\pm$ 0.17	1.35 $\pm$ 0.17	1.34 $\pm$ 0.14	1.21 $\pm$ 0.11	0.4076
	Zn	0.45 $\pm$ 0.02 b	0.48 $\pm$ 0.06 ab	0.52 $\pm$ 0.06 ab	0.64 $\pm$ 0.05 a	0.44 $\pm$ 0.04 b	*
	Cd	4.84 $\pm$ 0.34 a	2.24 $\pm$ 0.90 b	1.18 $\pm$ 0.90 b	2.14 $\pm$ 0.73 b	100 $\pm$ 0.57 b	***
EF _{TS}	Pb	1.25 $\pm$ 0.07 a	1.07 $\pm$ 0.07 ab	1.00 $\pm$ 0.17 ab	1.27 $\pm$ 0.14 a	0.87 $\pm$ 0.11 b	*
	Mn	4.01 $\pm$ 0.15	4.44 $\pm$ 0.40	3.90 $\pm$ 0.40	4.23 $\pm$ 0.33	4.44 $\pm$ 0.26	0.5409
	Co	6.28 $\pm$ 0.21 a	5.61 $\pm$ 0.56 ab	4.95 $\pm$ 0.56 b	5.35 $\pm$ 0.46 ab	4.71 $\pm$ 0.39 b	**
	Ni	5.94 $\pm$ 0.29	0.78 $\pm$ 0.77	4.66 $\pm$ 0.77	5.23 $\pm$ 0.63	5.33 $\pm$ 0.49	0.4752
	Cu	33.01 $\pm$ 1.48	29.21 $\pm$ 3.91	30.81 $\pm$ 3.91	30.40 $\pm$ 3.19	27.50 $\pm$ 2.47	0.4069
	Zn	6.02 $\pm$ 0.32 b	6.38 $\pm$ 0.85 ab	6.87 $\pm$ 0.85 ab	8.51 $\pm$ 0.70 a	5.88 $\pm$ 0.54 b	*
	Cd	10.48 $\pm$ 0.74 a	5.02 $\pm$ 1.96 b	2.64 $\pm$ 1.96b	4.13 $\pm$ 1.60 b	2.17 $\pm$ 1.24	***
EF _{TS}	Pb	7.67 $\pm$ 0.41 a	6.56 $\pm$ 1.07 ab	6.14 $\pm$ 1.07 ab	7.81 $\pm$ 0.88 a	5.32 $\pm$ 0.68 b	*
	n	30	4	4	6	10	

* Signifikan pada tingkat probabilitas 0,05.

** Signifikan pada tingkat probabilitas 0,01.

*** Signifikan pada tingkat probabilitas 0,001.

n: jumlah sampel /lokasi. Tidak ada data untuk Ca di EF_{TS}. Nilai pada setiap garis horizontal yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda secara signifikan ($p = 0,05$).

Pada Gambar 2.5 analisis komponen utama dari faktor pengayaan logam berat (EF_B) dengan peta isokonsentrasi untuk mengidentifikasi sumber polusi atmosfer dan hubungannya dengan lokasi, analisis ini menggunakan rotasi varimax untuk

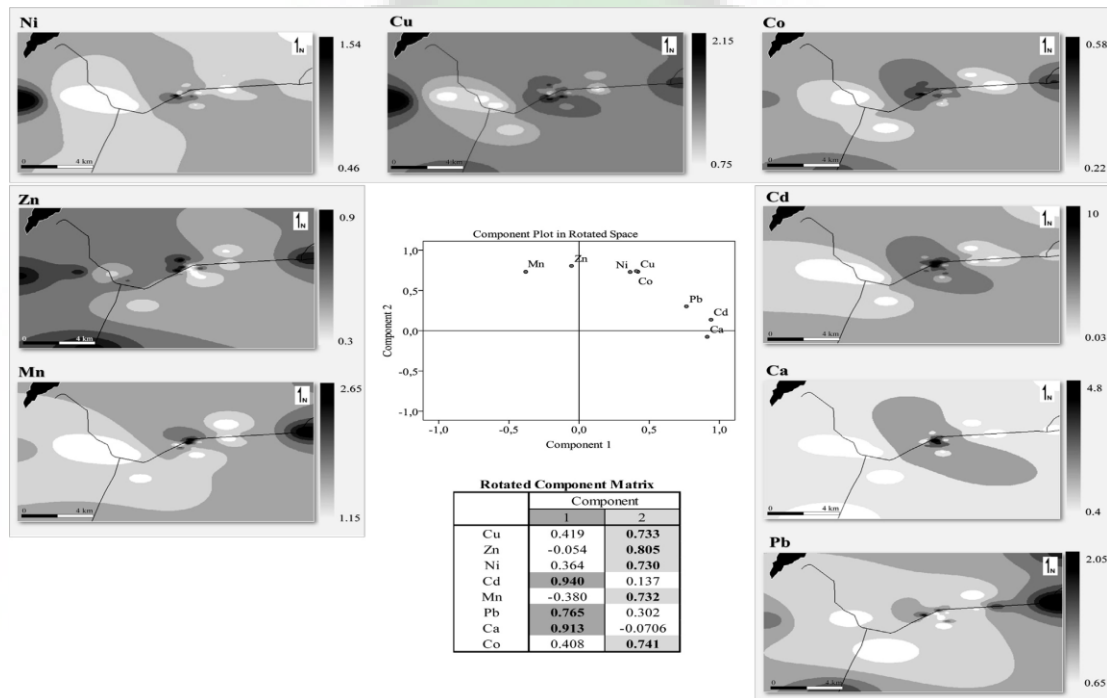
membedakan sumber dan titik lokasi. Analisis ukuran Kaisere-Meyer-Olkin (KMO) pada sampel adalah 0,706, menunjukkan korelasi/hubungan yang efisien. Dalam hal ini terdapat 2 faktor, faktor pertama (1) diwakili oleh logam Cd, Ca dan Pb (koefisien $> 0,7$). Peta isokonsentrasi menunjukkan bahwa elemen-elemen ini berhubungan langsung dengan emisi pabrik semen dengan efek lokal yang terlihat. Namun, arah E (timur) juga terdampak, mungkin karena emisi lalu lintas kendaraan, meskipun dalam proporsi kecil (koefisien $< 0,3$). Sedangkan untuk faktor kedua (2) diwakili oleh logam Zn, Mn, Co, Ni dan Cu (koefisien $> 0,7$), dengan peta isokonsentrasi menunjukkan bahwa unsur-unsur ini tersebar di seluruh wilayah penelitian (terlihat dari hasil analisis ANOVA untuk Ni, Cu dan Mn), dan hal ini memungkinkan berasal dari emisi lalu lintas kendaraan dan suspensi ulang tanah. Karena Cu, Co dan Ni juga terhubung dengan faktor 1 (koefisien $< 0,4$), maka ini juga termasuk emisi yang dihasilkan dari pabrik semen walaupun dengan proporsi kecil/sedikit. Mengenai lalu lintas kendaraan, menurut Badan Lingkungan Eropa (EEA, 2007) sumber emisi logam dari faktor lalu lintas berasal dari kampas rem ($\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cd}$), karet ban ($\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cd}$) dan keausan aspal ($\text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Cd}$).

2.3.4 Kerusakan fisiologis

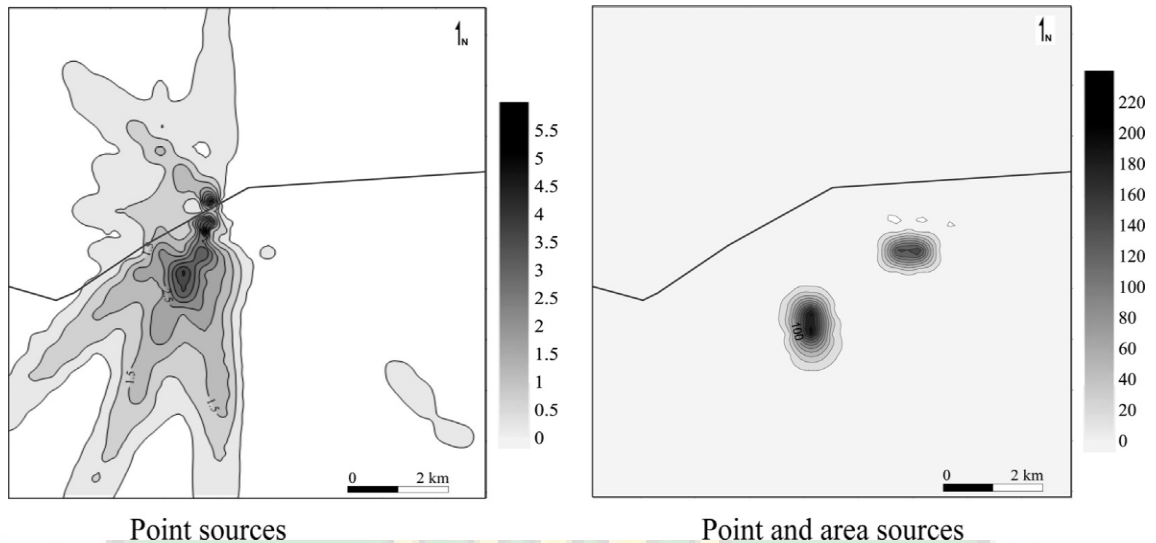
Tabel 2.3 menunjukkan analisis ANOVA untuk kerusakan fisiologis di berbagai sub-area dalam penelitian ini. Nilai FDI dan EC_1 serupa dengan nilai signifikan maksimum terjadi pada area C, yang diikuti oleh arah timur (E), sedangkan Chl-a dan ca-rotenoid keduanya memiliki nilai terendah pada arah area C dan area arah barat (W). Prajapati (2012) mengatakan bahwa penurunan total kandungan klorofil dalam daun yang terbuka dapat dikaitkan dengan kondisi alkali yang dikembangkan oleh pelarutan bahan kimia yang ada dalam partikel debu. Terkait dengan ini, endapan debu pada permukaan daun mengubah sifat optiknya, dan jumlah cahaya yang tersedia untuk fotosintesis.

Nilai S terbesar dalam penelitian ini ditemukan di area E, berasal dari emisi perkotaan kota Cordoba. Oleh karena itu, terlepas dari kenyataan bahwa S adalah

polutan yang dipancarkan dari pabrik semen (Schuhmacher et al., 2004), dalam kasus kami, pengaruh lalu lintas kendaraan tampaknya lebih kuat. Hasil serupa juga ditemukan oleh Branquinho et al. (2008) menggunakan lumut yang terpapar di sekitar pabrik semen, dan oleh Carreras dan Pignata (2002) yang bekerja di pabrik yang sama dengan penelitian ini.



Gambar 2.5 Analisis Komponen Utama dengan rotasi Varimax dan peta isokonsentrasi untuk faktor pengayaan logam berat (EF_B) pada tanaman *T. capillaris*.



Gambar 2.6 Nilai konsentrasi rata-rata PM_{10} yang ($\mu g\ m^{-3}$) dari pabrik semen dengan periode paparan/pencahayaannya (September-Maret 2009/2010). Hasil diperoleh dari penerapan model ISC3.

2.3.5 Pemodelan dispersi atmosfer emisi PM_{10} dari pabrik semen (efek emisi)

2.3.6 Perhitungan tingkat emisi

Perkiraan tingkat emisi PM_{10} diklasifikasikan sebagai sumber titik (4 tumpukan semen) dan sumber area (6 timbunan aktif dan 2 tambang batu kapur). Informasi mengenai perhitungan tingkat emisi dapat ditemukan di bahan Pelengkap. Tabel S5 menunjukkan tingkat emisi yang dihasilkan yang diperoleh melalui teknik estimasi faktor emisi. Cerobong memiliki nilai emisi tertinggi, namun ketika mempertimbangkan area emisi, tambang batu kapur dan timbunan aktif adalah sumber utama PM_{10} . Timbunan aktif maksudnya adalah tempat penyimpanan bahan.

2.3.7 Input data ISCST3

Model ISCST3 digunakan untuk menghitung emisi PM_{10} dari pabrik semen, mempertimbangkan jaringan Cartesian yang luasnya 9 km dengan resolusi 400 m x 400 m. Sub-grid Cartesian lain seluas 800 m, dengan resolusi 200 m x 200 m yang meliputi area yang berdekatan dengan tumpukan dan 22 bangunan juga dimasukkan

untuk menghitung downwash aerodinamis. Model ini memerlukan variabel meteorologi untuk periode penelitian selama 7 tahun: kecepatan angin (m s^{-1}); aliran vektor angin (derajat); suhu (K); Kelas stabilitas Pasquill (1-6); dan tinggi pencampuran (m). Dispersi pedesaan dipilih untuk model dan tipe polutan PM_{10} yang akan dianalisis. Ketinggian tiang reseptor untuk 554 reseptor ditetapkan pada 3 m di dataran tinggi (m a.l.), Dengan tujuan menganalisis nilai konsentrasi ($\mu\text{g m}^{-3}$) yang kemudian dibandingkan dengan biomonitor periode paparan (pada 3 m). Model ini diatur untuk menghitung nilai konsentrasi selama 24 jam termasuk 2 sumber yang terdiri dari 4 titik sumber (tumpukan semen) dan 8 sumber area (6 timbunan aktif dan 2 tambang batu kapur).

2.3.8 Peta isokonsentrasi

Untuk membandingkan nilai konsentrasi PM_{10} dari model dispersi atmosfer dengan standar atmosfer WHO (2005), peta isokonsentrasi diuraikan untuk menunjukkan ringkasan konsentrasi tertinggi yang diperoleh 24 jam selama 7 tahun. Hasil ini (dinyatakan dalam $\mu\text{g m}^{-3}$) ditunjukkan pada (Gambar 2.4) meliputi total emisi PM_{10} dari pabrik semen untuk periode studi 7 tahun (2006-2012), dampak PM_{10} secara keseluruhan dari pabrik semen. Tidak ada variasi signifikan yang ditemukan dalam konsentrasi PM_{10} . Jelas bahwa nilai-nilai PM_{10} terbesar diperoleh dari sumber area, yang merupakan area-area besar yang terekspos di mana debu dibawa kembali oleh angin. Sumber-sumber area, khususnya tambang batu kapur, menghasilkan emisi terbanyak di wilayah studi dan menunjukkan efek lokal yang nyata, dengan emisi terjadi di atas permukaan tanah. Level PM_{10} berada dalam batas yang dapat diterima sekitar 800 m dari tambang batu kapur dan 100 m dari timbunan aktif dan tambang yang lebih kecil.

2.3.9 Hubungan antara studi biomonitoring dan pemodelan dispersi atmosfer

Gambar 2.6 mengilustrasikan peta isokonsentrasi yang menunjukkan nilai konsentrasi rata-rata oleh biomarker ($\mu\text{g m}^{-3}$), yang diperoleh dari sumber titik dan sumber area selama periode paparan dari September hingga Maret 2009/2010.

Dampak dari emisi tumpukan diamati, yang pasti disebabkan oleh *downwash*, mengingat bahwa 4 tumpukan sangat dekat dengan bangunan besar. Model tersebut mengungkapkan bahwa emisi dari sumber area juga terbatas pada wilayah-wilayah/area sekitarnya, tanpa adanya dispersi yang signifikan ditunjukkan pada bagian lain dari area penelitian. Ini juga diamati dalam studi biomonitoring, yang mengidentifikasi Ca, Cd dan Pb, pH dan EC sebagai biomarker dari pabrik semen dengan efek lokal yang nyata. Efek *downwash* bangunan juga terdeteksi oleh biomonitor, karena EFs tertinggi untuk pabrik semen adalah di sub-area C, dengan dua lokasi pengambilan sampel (menuju arah utara) yang memiliki nilai logam berat tertinggi dari pabrik semen.

Menuju arah E (timur), tingginya tingkat logam berat lainnya menunjukkan bahwa sumber atmosfer bukan hanya dari pabrik semen, namun juga dari lalu lintas kendaraan. Efek emisi lalu lintas kendaraan dan suspensi tanah ditunjukkan oleh biomonitor. Logam berat Zn, Cu, Ni, Mn dan Co berhubungan kuat dengan kondisi ini.

2.4 Kesimpulan

Penerapan metode Biomonitoring dapat memberikan informasi yang lebih akurat mengenai kualitas udara atmosfer di suatu wilayah, karena atmosfer yang berbeda dapat diidentifikasi dan dikarakterisasikan. Ca, Cd dan Pb, pH dan EC merupakan hasil identifikasi biomarker dari pabrik semen, sementara Zn, Cu, Ni, Mn dan Co merupakan identifikasi biomarker yang berasal dari emisi kendaraan lalu lintas dan suspensi tanah. Penerapan model dispersi atmosfer ISC3, memberikan informasi bahwa penghasil emisi PM_{10} terbesar di atmosfer berasal dari industri pabrik semen. Model ini memberikan informasi emisi dari pabrik semen berdasarkan sumber titik dan wilayah sekitarnya, tanpa dispersi yang signifikan di wilayah penelitian. Efek perubahan aliran angin dapat terdeteksi oleh biomonitoring, nilai EFs tertinggi diamati di area C, dengan dua lokasi pengambilan sampel (menuju arah utara). Penelitian lebih lanjut mencakup pada fraksi total logam berat juga komponen

lainnya untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi pencemaran atmosfer di wilayah penelitian secara lebih rinci, mengukur konsentrasi PM_{10} untuk memvalidasi hasil yang diperoleh dalam pemodelan.

Perlu diketahui bahwa penelitian biomonitoring dan penerapan model dispersi atmosfer merupakan cara alternatif yang perlu di kembangkan secara bersamaan untuk hasil yang lebih baik dalam pemantauan atmosfer.

2.5 Ucapan Terima Kasih

Hasil karya ini didukung oleh Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (FONCyT) dan Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Terima kasih kepada Dr. P. Hobson (penutur asli) untuk revisi bahasa dan Dr. E.G. Abril (CREAN-IMBIV) untuk bantuan GIS.

BAB III

PEMBAHASAN

3.1 Identitas Artikel Jurnal Ilmiah

Jurnal	Atmospheric Environment
Cite Score	7.6
Impact Factor	4.039
5-Year Impact Factor	4.663
Source Normalized Impact per Paper (SNIP)	1.494
SCImago Journal Rank (SJR)	1.305
Abstracting and Indexing	• Web of Science • Analytical Abstracts • Theoretical Chemical Engineering Abstracts • Acid Precipitation Digest • Air Pollution Titles • Applied Science and Technology Index • Research Alert • Aqualine Abstracts • BIOSIS Citation Index • Environmental Periodicals

	Bibliography • Elsevier BIOBASE • Chemical Abstracts • Cambridge Scientific Abstracts • Current Contents - Agriculture, Biology & Environmental Sciences • Current Contents - Physical, Chemical & Earth Sciences • Embase • FLUIDEX • Geological Abstracts • Meteorological and Geoastrophysical Abstracts • INSPEC • Pascal Francis • Science Citation Index • Applied Science & Technology Abstracts • Scopus • Geographical Abstracts: Physical Geography • Engineering Village - GEOBASE
--	---

Judul Artikel Ilmiah	Biomonitoring of airborne particulate matter emitted from a cement plant and comparison with dispersion modelling results
Nomor	82
Tahun	2014
Halaman	154-163
Penerbit	Elsevier
Penulis	Gabriela A. Abril, Eduardo D. Wannaz, Ana C. Mateos, María L. Pignata
Institusi Penulis	Multidisciplinary Institute of Plant Biology, Pollution and Bioindicator Section, Faculty of Physical and Natural Sciences, National University of Córdoba, 1611 Vélez Sársfield av., X5016CGA Córdoba, Argentina

3.2 Kebaruan Artikel

Polusi udara yang berasal dari kegiatan industri dapat memengaruhi kondisi fisiologis dan biokimia pada tanaman maupun organisme hidup lainnya, Berdasarkan jenis komposisi kimia dan konsentrasi polutan (Mandre et al., 1999). Hasil penelitian sebelumnya diketahui bahwa debu pabrik semen mengandung logam berat beracun diantaranya As, Pb, Ni, Cr, Cu, Zn, Mn, dan Cd, (Adejumo et al., 1994), logam berat ini dapat menyebar luas kewilayah lain, yang dibawa oleh angin maupun hujan, sehingga dapat terakumulasi pada tanaman, hewan dan tanah, juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia (Isikli et al., 2006).

Dalam artikel ini peneliti berupaya memonitor kualitas atmosfer di lingkungan yang tercemar oleh polutan dari industri parik semen dan sekitarnya dengan metode Biomonitoring atmosfer menggunakan organisme hidup sebagai indikator dalam penelitian ini. Hasil metode biomonitoring yang digunakan dalam

penelitian ini dibandingkan dengan pemodelan dispersi. Model dispersi yang digunakan yaitu model dispersi ISC3.

Metode biomonitoring dan pemodelan dispersi ini bertujuan untuk menilai kualitas udara (efek emisi) di lokasi pabrik semen. Biomonitoring lingkungan dapat menggunakan organisme hidup untuk mengukur dampak dari polutan (efek emisi) pada ekosistem dan dapat diterapkan sebagai perlindungan terhadap lingkungan (Franzle, 2003). Misalnya Lichens (lumut kerak) merupakan salah satu tanaman yang banyak digunakan dalam penelitian biomonitoring polusi udara, karena tanaman ini diketahui sangat peka terhadap pencemar (Pignata et al., 2002).

Dalam penelitian ini menggunakan tanaman lumut *Tillandsia capillaris Ruiz & Pav. f. Capillaris* sebagai bioindikator untuk menilai tingkat emisi di udara, kerusakan fisiologis dan akumulasi logam berat (Ca, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd dan Pb). Penerapan model ISC3 dalam artikel ini bertujuan untuk menghitung konsentrasi partikulat metter (PM_{10}) di sekitar pabrik semen sebagai hasil dari periode paparan biomonitoring udara. Model ISC3 ini juga dapat mengetahui emisi pabrik semen berdasarkan sumber titik dan wilayah sekitar pabrik semen. Selain itu, juga dapat mengidentifikasi Ca, Cd dan Pb, pH dan konduktivitas listrik (EC) dari pabrik semen. Penelitian biomonitoring dan penerapan model dispersi dapat menilai pencemaran di atmosfer secara lebih rinci. Perlu diketahui bahwa penelitian biomonitoring dan penerapan model dispersi atmosfer merupakan cara alternatif yang perlu dikembangkan secara bersamaan untuk hasil yang lebih baik dalam pemantauan atmosfer.

3.3 Kelebihan artikel

Adapun kelebihan dari artikel ini adalah :

- a. Informasi yang disampaikan mengenai penerapan metode biomonitoring udara menggunakan tanaman dinilai lebih efektif, relatif cepat, murah dan menggunakan alat sederhana.

- b. Penelitian ini merupakan penelitian pertama yang menggunakan tanaman *Tillandsia capillaris* Ruiz & Pav. f. *Capillaris* sebagai bioindikator dan dengan pemodelan dispersi ISC3 dalam memonitoring pencemaran udara di lokasi pabrik semen.
- c. Penelitian biomonitoring dan penerapan model dispersi dapat menilai pencemaran di atmosfer secara lebih rinci.
- d. Sebagai informasi terbaru dari penelitian biomonitoring atmosfer dengan penerapan model dispersi ISC3 yang penelitian sebelumnya belum menggunakan pemodelan dengan alat dispersi model ISC3.

3.4 Kekurangan artikel

Adapun kekurangan dari artikel ini adalah:

- a. Dalam artikel ini tidak menjelaskan secara detail tentang pengambilan sampel dan periode paparan.
- b. Biomonitoring menggunakan tanaman dinilai secara tidak langsung memungkinkan hasilnya kurang akurat, dibandingkan menggunakan alat secara langsung.
- c. Penelitian ini tidak menampilkan materi tambahan yang di sebutkan di dalam artikel ini.

3.5 Dampak dari artike

Berikut beberapa dampak dari artikel ini yaitu:

- a. Penelitian ini dapat menjadi referensi untuk penelitian biomonitoring pencemaran udara yang menggunakan tanaman *Tillandsia capillaris* Ruiz & Pav. f. *Capillaris* sebagai bioindikator pematuan kualitas udara di lokasi pabrik semen dan dengan pemodelan alat dipersi.
- b. Artikel ini dapat dikembangkan untuk peneliti selanjutnya sebagai metode pemodelan biomonitoring pencemaran udara dilingkungan baik dari industri maupun dari kedaraan lalu lintas dengan menggunakan tanaman.

- c. Metode ini juga dapat mendeteksi jenis –jenis logam berat berbahaya yang terdapat di lokasi pabrik semen.
- d. Tanaman udara *Tillandsia capillaris* Ruiz & Pav. f. *Capillaris* merupakan bioindikator yang baik untuk menilai kualitas udara yang tercemar. Penelitian ini dapat dikembangkan atau diterapkan di Indonesia karena di Indonesia sendiri masih belum ada penelitian khusus terkait biomonitoring pencemaran udara di pabrik semen menggunakan indikator tanaman *Tillandsia capillaris* Ruiz & Pav. f. *Capillaris*.



BAB IV

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Penerapan metode biomonitoring pada penelitian ini dapat memberikan informasi yang lebih akurat mengenai kualitas atmosfer di suatu wilayah dengan pemodelan dispersi ISC3 di lokasi pabrik semen. Ca, Cd dan Pb, pH dan EC merupakan hasil identifikasi biomarker dari pabrik semen, sementara Zn, Cu, Ni, Mn dan Co merupakan identifikasi biomarker yang berasal dari emisi kendaraan lalu lintas dan suspensi tanah. Penelitian biomonitoring dan penerapan model dispersi atmosfer merupakan cara alternatif yang perlu dikembangkan secara bersamaan untuk hasil yang lebih baik dalam pemantauan kualitas udara di atmosfer.

4.2 Saran

Perlu dilakukannya identifikasi untuk membedakan apakah pencemaran logam berat memang berasal dari pabrik semen atau dari lalu lintas kendaraan untuk mendapatkan data yang lebih akurat. Penelitian ini sangat bagus dijadikan sebagai referensi dalam memonitor kualitas udara di lingkungan dan patut dikembangkan.